Aus der Universitätsfrauenklinik
der Freien Universität Berlin
Berlin 19, Pulsstraße 4-14
Direktor: Prof. Dr. med. H. Lax

Die praktische Bedeutung der intrauterinen Schädelmessungen mit dem Ultraschallgerät

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Daiber, Wolfgang
aus Breslau

1972

Aus der Universitätsfrauenklinik
der Freien Universität Berlin
Berlin 19, Pulsstraße 4-14
Direktor: Prof. Dr. med. H. Lax

Die praktische Bedeutung der intrauterinen Schädelmessungen mit dem Ultraschallgerät

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Daiber, Wolfgang
aus Breslau

Referent: Prof. Dr. med. H. Hoffbauer

Korreferent: Professor Dr. med. H. Oeser

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 15.6.1972

Meinem Vater gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1. Geschichtliche Entwicklung der Ultraschalltechnik
   1.1. Einführung des Ultraschalls in die Medizin durch Dussik
   1.2. Anwendung in der Ophthalmologie, der inneren Medizin, der Chirurgie und der Gynäkologie
   1.3. Anwendung in der Geburtshilfe
      1.3.1. Nachteile der Röntgen-Diagnostik in der Geburtshilfe
      1.3.2. Möglichkeiten des Ultraschalls in der Geburtshilfe

2. Physikalische Grundlagen
   2.1. Definition des Ultraschalls
   2.2. Der piezoelektrische Ultraschallgeber
   2.3. Gesetzmäßigkeiten in homogenen Medien
   2.4. Nahzone und Fernzone
   2.5. Absorption und Auflösungsvermögen

3. Gefahren des Ultraschalls für Mutter und Kind

4. A-Bild und B-Bild
   4.1. A-scan Verfahren
   4.2. B-scan Verfahren

5. Ultraschallschnittbildgerät Vidoson
   5.1. Methode zur Herstellung von Ultraschallschnittbildern in rascher Reihenfolge
   5.2. Beschreibung des Vidosongerätes

6. Intrauterine Schädelmessungen mittels Ultraschall
   6.1. Anliegen
   6.2. Patientengut
   6.3. Untersuchungsvorgang und Bildverwertung

7. Ergebnisse
   7.1. Meßgenauigkeit des Gerätes
   7.2. Aussagefähigkeit der kindlichen Schädeldurchmesser
      7.2.1. Zunahme der Durchmesser während der Schwangerschaft
      7.2.2. Schädeldurchmesser und Geburtsgewicht

7.2.3. Kindeslänge und biparietaler Durchmesser

7.2.4. Biparietaler Durchmesser und Geburtstermin

8. Diskussion

9. Zusammenfassung

1. Geschichtliche Entwicklung der Ultraschalltechnik (39)

Der Ultraschall wurde, bevor er in die Medizin Eingang fand, auf vielen anderen Gebieten zur Klärung der verschiedensten Probleme herangezogen.

Mit dem sog. Impuls-Laufzeitverfahren erzielte man schon im ersten Weltkrieg Erfolge bei der Ortung von Unterwasserfahrzeugen. Später setzte Behm den Ultraschall als Tiefenlot zur Messung von Meerestiefen ein.

1.1. Einführung des Ultraschalls in die Medizin durch Dussik

In der Mitte der 30iger Jahre wurde ein Verfahren zur Bestimmung innerer Fehler von Metallstücken angegeben. Dabei gelangte das Durchschallverfahren zur Anwendung, wobei die Schallintensität nach Passage des Werkstückes gemessen wird.

Das Durchschallverfahren, oder auch Intensitätsverfahren genannt, fand auch in die Medizin Eingang. Dussik (9) führte es 1942 in die medizinische Diagnostik ein, indem er das Gehirn durchschallte. Dieses System nannte er Hyperpgonographie. An der Austrittsstelle des Schallbündels wurde die geschwächte Intensität aufgenommen und verstärkt. Die erzeugte Span-

nung wurde einem Lämpchen zugeführt, das eine photographische Platte schwärzte. Paralleles Verschieben erzeugte ein flächenhaftes Bild. Dussik beurteilte so Form und Größe der Hirnventrikel. Anfang der Fünfziger Jahre erkannte man aber, daß dieses Verfahren mit zu vielen Störeffekten behaftet ist und deshalb keinen klinischen Wert besitzt.

Die Ultraschalldiagnostik geriet langsam in Vergessenheit. Erst in den Jahren 1949 bis 1951 wurde der Ultraschall in der Medizin zu einem bekannten Begriff, als er in der Therapie zahlreicher Erkrankungen Anwendung fand. In den darauffolgenden Jahren erkannte man jedoch die Grenzen dieser Behamdlungsmethode, so daß es wieder still um die Ultraschalltherapie wurde.

1.2. Anwendung in der Ophtalmologie, der inneren Medizin, der Chirurgie und der Gynäkologie

In jüngster Zeit gewinnt der Ultraschall wieder als diagnostisches Hilfsmittel zunehmend an Bedeutung. Auf dem "Ersten Weltkongreß für Ultraschalldiagnostik in der Medizin" 1969 in Wien konnte man den Vorträgen entnehmen, daß der Ultraschall auf weiten Gebieten der Medizin einen festen Platz innehat.

Der Ultraschall fand Eingang in die Ophtalmologie, zur Längenmessung der Augenachse (19, 15, 16), zur Diagnostik von Orbitaltumo-

ren (4), Blutungen (61), intraocularen Fremdkörpern (48) und vielem anderen mehr (13, 47, 67). Im Bereich des Schädels, bekannt als Echoencephalographie, dient er zum Nachweis von intrakraniellen Blutungen, Tumoren und Ventrikelerweiterungen (46, 51).

Auch in der inneren Medizin, z.B. zum Erkennen von Mitralfehlern (11, 66), und in der Chirurgie (50) wird der Ultraschall angewandt.

In der Gynäkologie stellen wir unter anderem fest: Myome, Cysten (auch mit Kammerung) und Carzinome (39, 58).

1.3. Anwendung in der Geburtshilfe

Ein sehr großes Anwendungsgebiet findet der Ultraschall auf dem Sektor der Geburtshilfe.

Schon immer wollte man vor der Geburt die Lage, Größe und das Gewicht des Feten bestimmen. Keine der üblichen Techniken hat sich jedoch als gänzlich ausreichend erwiesen. Die Palpation des Abdomens ist nicht zufriedenstellend wegen der unterschiedlichen Gewebedichte. Amnionflüssigkeit und viele andere Variable machen es unmöglich, zum Beispiel die Größe des Ungeborenen genauer als bis auf zwei Pfund seines wahren Gewichtes zu bestimmen. Das Palpieren des Uterus während der Schwangerschaft ist oft schwierig, wenn der Uterus groß, kugelförmig und aufgebläht ist. Unter diesen Umstän-

den muß man bei der Differentialdiagnose an verschiedene Möglichkeiten denken, etwa Zwillinge, Hydramnion, eine große Frucht oder einen die Schwangerschaft komplizierenden Tumor.

1.3.1. Nachteile der Röntgen-Diagnostik in der Geburtshilfe

Die Diagnose Zwillinge kann ohne die Hilfe von Röntgenstrahlen schwierig sein. Es ist aber wichtig, Gemini während der Schwangerschaft zu diagnostizieren, wenn auch aus keinem anderen Grund um sicherzustellen, daß Vorkehrungen getroffen werden, eine vorzeitige Geburt zu verhindern (Zwillingsgeburt = Risikogeburt). Eine genaue Diagnose kann natürlich mit Röntgenstrahlen gestellt werden, aber die Ultraschall-Prüfung gibt uns eine neue und vor allen Dingen eine gefahrlose Methode, um die Anzahl, Größe und Lage der Feten festzustellen (57).

Noch kurz einiges zur Röntgendiagnostik. Die Strahlenanwendung ist nicht zu einer Lösung der Probleme angebracht. Dieser Technik haftet eine gewisse Verzerrung an; außerdem bekommen wir ein Summationsbild und nicht Quer- oder Längsschnittbilder (20). Intrauterine Kopfmessungen, die mit Röntgenstrahlen durchgeführt werden, zeigten doch nur wechselhafte und bescheidene Erfolge. Es sei hier noch auf die Strahlenbelastung hingewiesen, welcher wir Mutter und Kind bei dieser Methode aussetzen. Mit der Ultraschallanwendung fällt dieses Problem

wie wir später noch zeigen werden, gänzlich weg.

1.3.2. Möglichkeiten des Ultraschalls in der Geburtshilfe

Nicht nur, daß man die Diagnose Gemini bzw. Beckenendlage oder Schädellage stellen kann. Nein, der Anwendungsbereich des Ultraschalls in der Geburtshilfe erstreckt sich viel weiter. Mit seiner Hilfe lokalisieren wir die Placenta (29) und erkennen eine Placentainsuffizienz bzw. eine hydropische Placenta (19). Wir erhärten Verdachtsdiagnosen auf Mangelentwicklung, Missed abortion, Blasenmole und intrauterinen Fruchttod. Sogar die Herzaktion des Feten können wir direkt an einem Oszillographen, der dem Gerät angeschlossen ist, beobachten. Die größte Anwendung finden die Ultraschallapparate jedoch bei der intrauterinen Schädelmessung. Donald war derjenige, der mit der fetalen Cephalometrie den Ultraschall 1956 in die Geburtshilfe einführte. Wie wir später noch sehen werden, erlauben uns die Maße der biparietalen und fronto-occipitalen Durchmesser Rückschlüsse auf Größe, Gewicht und Reife des Kindes. Durch wiederholte Schädelmessungen in den einzelnen Schwangerschaftsmonaten bzw. -wochen können wir einen normalen oder auch pathologischen Verlauf der Gravidität beobachten.

Obwohl uns die Ultraschalltechnik so viele Vorteile bringt, halten noch immer viele Gynäkologen an der Röntgenmethode fest, wobei natürlich zu berücksichtigen ist, daß die Anschaffung eiB. eines Ultraschallschnittbildgerätes die Kapazität kleinerer Kliniken übersteigt (65).

Es sei noch darauf hingewiesen, daß wir in der Ultraschalltechnik eine eindimensionale Methode (A-Bild) und eine Schnittbildmethode (B-Bild) unterscheiden, die wir weiter unten kurz erläutern werden.

Bevor wir nun über die Schädelmessungen an der Frauenklinik berichten, möchten wir noch auf die Physik des Ultraschalls eingehen.

2. Physikalische Grundlagen des Ultraschalls (3)

2.1. Definition des Ultraschalls

Unter Ultraschall versteht man in der Akustik Schallfrequenzen oberhalb der Hörgrenze des menschlichen Ohres, d.h. Schallschwingungen von rund 20 000 Hertz aufwärts. Übersteigt die Frequenz die Grenze von 10^{10} Hz, so sprechen wir von Hyperschall. Bei hohen Frequenzen des Hyperschalls liegen dann schon die Schwingungen in der Größenordnung der Wärmebewegung von Molekülen.

Die Gesetze der Akustik des Hörbereichs gelten unverändert auch für das Gebiet des Ultraschalls. Als mechanische Wellen benötigen sie zu ihrer Ausbreitung ein Medium, sie können sich also nicht, im Gegensatz zu elektromagnetischen Wellen, im Vakuum fortpflanzen. Bei den Ultraschallschwingungen treten noch besondere Erscheinungen auf, die man bisher bei den hörbaren Schallschwingungen nicht findet. Ultraschall-Wellen lassen sich ferner infolge ihrer kleinen Wellenlänge sehr gut bündeln und somit gerichtet ausstrahlen, so daß man von einer Ultraschallstrahlung sprechen kann und mit Ultraschallstrahlen eine Art Schalloptik treiben kann.

Hinzu kommt, daß es verhältnismäßig einfach gelingt, Ultraschall-Wellen mit so großer In-

tensität zu erzeugen, wie wir sie in der Hörakustik nicht kennen. Dies führte in den letzten 30 Jahren zu einer außerordentlich vielseitigen Anwendung des Ultraschalls in den verschiedensten Zweigen der Naturwissenschaften und auf mehreren Gebieten der Medizin.

Zum Unterschied von den hörbaren Schallwellen, die sich auch in der Luft fortpflanzen können, werden Ultraschallwellen, besonders der hohen, in der medizinischen Diagnostik zur Anwendung gelangenden Frequenzen, an der Grenze zur Luft vollkommen reflektiert. Ihr Anwendungsbereich und ihre Existenz liegt somit auf dem Gebiete der festen Stoffe und der Flüssigkeiten.

2.2. Der piezoelektrische Ultraschallgeber

Die heute höchstmöglichen Ultraschallfrequenzen werden mit Hilfe des piezoelektrischen Verfahrens erreicht, wobei hochfrequente elektrische Schwingungen in intensive mechanische Schwingungen umgeformt werden.

Der piezoelektrische Effekt

Im Jahre 1880 entdeckten die Gebrüder Curie die Erscheinung, daß bei manchen Kristallen bei Druck oder Dehnung in gewissen Richtungen auf bestimmten Kristallflächen elektrische Ladungen auftraten. Diese immer wieder

reproduzierbare Erscheinung wurde piezoelektrischer Effekt genannt. Schon die ersten Versuche zeigten, daß die frei werdenden Ladungen der Größe des mechanischen Druckes bzw. der Dehnung proportional sind; das Vorzeichen der auftretenden Ladungen ändert sich, wenn eine Kompression in eine Dilatation übergeht. Der piezoelektrische Effekt tritt bei Turmalin, Quarz, Rohrzucker und noch bei vielen anderen Kristallen auf, die den verschiedensten Kristallklassen angehören. Auch die Erdalkalititanate zeigen diese Eigenschaften. Als geeignetstes Material dieser Gruppe wurde das Bariumtitanat erkannt. Das gemeinsame Kennzeichen, das alle piezoelektrisch wirksamen Kristalle besitzen, ist das Vorhandensein einer oder mehrerer polarer Achsen bzw. polarer Richtungen oder das Fehlen eines Symmetriezentrums. Unter einer polaren Achse (bzw. Richtung) versteht man in der Kristallographie eine im Kristall gedachte Richtung, bei der vorderes und hinteres Ende nicht gleichwertig, also nicht miteinander vertauschbar sind. Mit anderen Worten: Durch eine Drehung um irgendeine zur polaren senkrechte Achse um 180° läßt sich der Kristall nicht mit der Ausgangsstellung zur Deckung bringen.

Die Piezoelektrizität ist ein Kennzeichen für das Vorhandensein polarer Achsen. Es treten stets bei einer mechanischen Beanspruchung (Druck oder Dehnung) des Kristalls an den Enden einer polaren Achse bzw. auf den zur po-

laren Achse senkrecht stehenden Flächen entgegengesetzte elektrische Ladungen auf. Dabei ist nicht unbedingt notwendig, daß die mechanische Beanspruchung nur in Richtung der polaren Achse erfolgt, sondern es genügt, wenn eine Druck- oder Dehnungskomponente in die Richtung dieser Achse fällt.

Im Jahre 1881 wurde von Lippmann die Umkehrbarkeit des piezoelektrischen Effekts auf Grund thermodynamischer Überlegungen vorausgesagt. Kurze Zeit später konnten die Gebrüder Curie am Quarz diesen sogenannten reziproken piezoelektrischen Effekt nachweisen. Diese Erscheinung äußert sich folgendermaßen: Bringt man einen piezoelektrischen Kristall in ein elektrisches Feld, wobei die Feldrichtung mit einer piezoelektrischen Achse zusammenfällt, so erfolgt eine Deformierung des Kristalls.

Der piezoelektrische Effekt des Quarzes zum Beispiel ist bis zu Temperaturen von 200° C praktisch temperaturunabhängig. Darüber hinaus setzt eine langsame Abnahme des Effektes ein und bei 576° C geht der normale α-Quarz in eine Modifikation mit hexagonaler Struktur über, den β-Quarz, der keinerlei piezoelektrische Eigenschaften mehr zeigt. Nach Abkühlung kehrt der ursprüngliche Zustand wieder zurück. Bei Temperaturen unter 0° C ändert sich der piezoelektrische Effekt kaum.

Wie bereits oben erwähnt, werden beim Piezoeffekt elektrische Schwingungen in mechanische umgewandelt. Man kann aber mit einem solchen System nicht nur Schwingungen aussenden, sondern auch Ultraschallwellen empfangen. Dabei führen die mechanischen Wellen zur Kompression des Quarzes und erzeugen an dessen Oberfläche eine Spannung, die wir mit einer geeigneten Apparatur verstärken und sichtbar machen können.

Neben den natürlichen Kristallen haben eine Reihe von synthetischen Kristallen in der Ultraschalltechnik Anwendung gefunden. Diese Kristalltypen werden unter dem Namen Ferroelektrika zusammengefaßt, deren bekanntester Vertreter heute wohl das vielverwandte Bariumtitanat ($BaTiO_3$) sein dürfte. Sein Curiepunkt liegt bei 120° C, das heißt, daß oberhalb von 120° C das Bariumtitanat seine Kristallform ändert und keinen piezoelektrischen Effekt mehr zeigt.

2.3. Gesetzmäßigkeiten in homogenen Medien

Nach der bekannten Wellenlängenformel

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

λ = Wellenlänge
v = Fortpflanzungsgeschwindigkeit
f = Frequenz

wissen wir, daß bei einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit von etwa 1500 m/s und einer Frequenz, die zwischen 1 und 10 MHz liegt, die Wellenlänge 1,5 bis 0,15 mm betragen muß. Wir werden später sehen, daß die Wellenlänge eine wichtige Konstante in Bezug auf die Größe des Nahfeldes eines Ultraschallsenders ist.

Beim menschlichen Körper, der sich bei einer Durchschallung ähnlich einer Flüssigkeit verhält, beträgt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, vom Knochen ist wegen seiner großen Dichte abzusehen, im Gewebe zwischen 1490 und 1610 m/s (nach Ludwig 1950 (45) und Sándén 1964 (55)). Ludwig konnte zeigen, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die ja temperaturabhängig ist, im menschlichen Gewebe im Bereich von 20 - 37° C nur in vernachlässigbar kleinen Grenzen schwankt. Weiterhin zeigte er, daß die Geschwindigkeit im Bereich von 1 bis 10 MHz, bei gleichen Bedingungen natürlich, konstant bleibt. Das sind ja auch in etwa die Grenzen, in denen die in der medizinischen Diagnostik zur Anwendung gelangenden Frequenzen zu suchen sind.

Die Teilchen im Gewebe schwingen aus Stetigkeitsgründen nur in Fortpflanzungsrichtung, so daß wir es mit einer Longitudinalwelle zu tun haben. Die Auslenkung der einzelnen Teilchen, die ja die Wellenbewegung ausmacht, wird um so größer, je mehr Energie zugeführt wird. Die

abgestrahlte Energie bezeichnet man als Schallstärke oder Schallintensität I. Darunter versteht man die in der Zeiteinheit durch eine zur Fortpflanzungsrichtung senkrechte Flächeneinheit hindurchgetretene Energie. Sie wird in erg/cm^2sec oder in Watt/cm^2 angegeben, wobei 1 W/cm^2 = 10^7 erg/cm^2sec. Die Teilchenauslenkung ist nun nicht nur von der Schallstärke abhängig, sondern auch von der Dichte des Mediums und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Beide sind dem Quadrat der Auslenkung umgekehrt proportional.- Das Produkt aus Dichte des Mediums und der Schallgeschwindigkeit nennt man "Impedanz" oder Schallwiderstand (20). Diese Impedanz spielt eine wesentliche Rolle für das Verhalten des Ultraschalls an Grenzflächen zweier Materien mit verschiedener Dichte. Beim Übertritt des Ultraschalls von einem Medium zum anderen, zum Beispiel zwischen Muskulatur und Knochen, wird der Schallstrahl nach dem aus der Optik bekannten Brechungsgesetz von Snellius zum Teil reflektiert, zum anderen Teil gebrochen. Die Größe des reflektierten Anteils hängt vom Verhältnis der akustischen Impedanz der beiden aneinander grenzenden Medien ab. Je mehr sich die Schallwiderstände der beiden Stoffe bzw. Gewebearten unterscheiden, umso größer ist das Ausmaß der Reflexion an der Grenzfläche dieser beiden Medien. Auf der Reflexion aber basiert die gesamte medizinische Ultraschalldiagnostik.

Eine Totalreflexion und keine Brechung erfolgt an der Grenze zwischen Gewebe und Luft, der Schallstrahl aus einem Sender kann also die Barriere Luft nicht überwinden. Diese Tatsache hat praktische Bedeutung für eine Ultraschalluntersuchung, da wir hier immer für einen luftfreien Kontakt des Schallsenders zum Körper sorgen müssen. Dafür eignen sich z.B. ein wasserlösliches Gel (Aquasonic), ein Plastikbeutel mit Wasser oder ein Ölfilm.

Da in der Ultraschalldiagnostik der Schallkopf sowohl als Sender als auch als Empfänger benutzt wird, können reflektierte Wellen nur dann registriert werden, wenn das Schallbündel senkrecht auf die Grenzfläche auftrifft. Nur unter diesen Bedingungen erfolgt auch eine geradlinige Weiterbewegung ohne Brechung (wichtig für eine Registrierung am Oszillographen) in das nächste Medium, da nach dem Brechungsgesetz

$$n = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \qquad 2$$

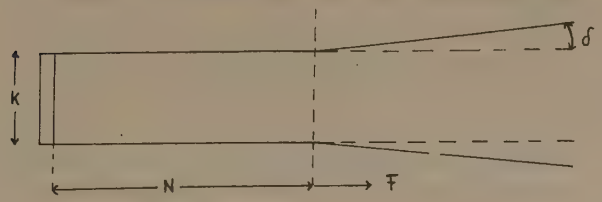
n = Brechzahl
c_1 = Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Medium 1
c_2 = Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Medium 2
α = Einfallswinkel
β = Brechungswinkel

$\sin \alpha$ 0° gleich Null wird und auch der Brechungswinkel β gleich Null sein muß.

2.4. Nahzone und Fernzone (41)

Jeder Ultraschallsender emittiert sein Schallbündel als parallele Strahlung. Die Zone hinter dem Schwingkristall wird als Nahfeld oder Nahzone bezeichnet. Infolge von Interferenzerscheinungen ist das Schallbündel jedoch nicht vollständig homogen. In der Praxis arbeitet man aus diesem Grunde lieber im sogenannten Fernfeld, das ist die Zone, die dort anfängt, wo die bisher parallel verlaufenden Strahlen zu divergieren beginnen.

Abb. 1 (nach Sundén)



K = Durchmesser des Senders
N = Nahzone
F = Fernzone
δ = Öffnungswinkel der Fernzone

Die Länge der Nahzone läßt sich nach einer von Hüter (1951) angegebenen Formel berechnen. Hierbei steht λ für die Wellenlänge:

$$N = \frac{K^2 - \lambda^2}{4\lambda} \qquad 3$$

Die Größe der Nahzone ist also sowohl vom Durchmesser des Schwingers als auch von der Wellenlänge abhängig.

Der Öffnungswinkel δ des Fernfeldes ist der Wellenlänge direkt und der Größe des Schwingkristalls umgekehrt proportional. Er berechnet sich nach der Formel:

$$\sin \delta = 1{,}22 \frac{\lambda}{K} \qquad 4$$

(Konstante 1,22 nach Sundén)

Aus den Gleichungen 3 und 4 kann man sagen, daß bei konstanter Frequenz die Nahzone um so länger und der Öffnungswinkel δ um so kleiner wird, je größer der Durchmesser des Schwingkristalls ist.

2.5. Absorption und Auflösungsvermögen (41)

Beim Durchschallen eines Gewebes werden die Schallwellen abgeschwächt, und als Folge davon verringert sich die Schwingungsenergie. Das ist dadurch bedingt, daß ein gewisser Anteil immer als Wärmeenergie verloren geht und nicht etwa die gesamte Energie als Bewegungsenergie weitergegeben wird. So geht mit jedem tieferen Eindringen des Schallstrahls in das Medium ein immer größerer Teil der Schwingungsenergie ver-

loren. Das Maß der Schallschwächung wird im sogenannten Absorptionskoeffizienten erfaßt, der nach folgender Exponentialfunktion mit der Schallintensität in Zusammenhang steht:

$$I_2 = I_1 \; e^{-\alpha x} \qquad 5$$

wobei bedeutet:

I_1 = Schallintensität an einem Punkt 1
I_2 = Schallintensität an einem Punkt 2
α = Absorptionskoeffizient
e = Basis des Logarithmus naturalis
x = Entfernung zwischen Punkt 1 und Punkt 2

1948 zeigten Hüter (27) und 1949 Hüter und Pohlmann (28), daß die Schallabsorption in tierischen Geweben nicht mit dem Quadrat der Frequenz zunimmt, sondern eine lineare Beziehung darstellt; gültig für einen Bereich von 250 kHz - 4 MHz. Nach Gleichung 1 wissen wir aber, daß die Wellenlänge mit steigender Frequenz abnimmt. Die Folge ist, daß das Auflösungsvermögen verbessert wird, da ja zur guten Auflösung zweier Reflektionsflächen ein Abstand untereinander von einigen Wellenlängen nötig ist. Mit jeder Frequenzsteigerung ist aber, da die Absorption zunimmt, eine geringere Eindringtiefe verbunden.

Zwischen den beiden gegensätzlichen Forderungen nach bestem Auflösungsvermögen und großer Eindringtiefe muß daher in der medizinischen Diagnostik ein Kompromiß geschlossen werden, der beiden Wünschen gerecht wird. Für die Gynäkologie und Geburtshilfe hat sich eine Frequenz

von etwa 2,5 MHz als optimale Lösung mit genügender Eindringtiefe und ausreichendem Auflösungsvermögen erwiesen. Bei einer solchen Frequenz werden nach Reflexionsflächen im Abstand von 0,6 mm auf dem Leuchtschirm als getrennte Echos aufgezeichnet. Eine solche Differenzierung ist in jedem Falle ausreichend.

3. Birgt die Ultraschalluntersuchung Gefahren für Mutter und Kind?

Die Ultraschall-Therapie gilt in der Schwangerschaft als kontraindiziert, da diese Geräte mit Dauerschall arbeiten und Energien von 2 - 4 Watt/cm^2 aussenden. Man nimmt an daß eventuell Schädigungen auftreten können, bewiesen ist es aber bis jetzt noch nicht. In der Diagnostik gelangen jedoch Geräte zur Anwendung, die erstens nur kurze Impulse abstrahlen und deren emittierte Energie bei einigen mWatt/cm^2 liegt.

Die Ungefährlichkeit der diagnostischen Ultraschallanwendung bewiesen unter anderem auch P. Fischer und E.-G. Loch in ihren Arbeiten.

Fischer zeigte, daß durch Ultraschalleinwirkung keinerlei Chromosomenabberation verursacht wird (12). Die Autorin setzte ein 40 - 50 cm langes Nabelschnurstück kurz nach der Geburt zur Hälfte einem Dauerschall von 810 kHz bei 3 Watt/cm^2 aus. Die andere Hälfte blieb unbeschallt. Nach 10 min wurden aus beiden Teilen je 10 ml Blut entnommen und darin etwa 50 Lymphocyten in Metaphase ausgewertet.

Über ein umfangreiches Experiment berichtete E.-G. Loch auf dem "1. Weltkongreß für Ultraschalldiagnostik" 1969 in Wien (44). Loch beschallte die Ovarien von 30 Kaninchen vor und während der Tragzeit bis zu 200 min mit unterschiedli-

chen Intensitäten (10 mWatt/cm^2 bis 3 Watt/cm^2). Die Experimente wurden sowohl mit Impulsschall als auch mit Dauerschall durchgeführt. Hinweise auf Schädigungen fand man trotz der überhöhten Dosis weder in den Zellkernen, den Mitochondrien, noch konnte ein Einfluß auf das Keimepithel festgestellt werden. Es wurde in einem Frequenzbereich von 850 kHz bis 2,5 MHz gearbeitet.

Schon aus diesen beiden Arbeiten, die nur eine Auswahl von vielen sind, geht eindeutig hervor, daß eine Ultraschalluntersuchung, die im Höchstfalle 10 - 15 min dauert, bei derartig niedrigen Schallintensitäten, wie sie in der Diagnostik appliziert werden, keine Gefahr für Mutter und Kind bedeuten, auch nicht bei wiederholter Anwendung. Für die Gefahrlosigkeit der Ultraschall-Methode sprechen auch die schon zahlreichen, in der Schwangerschaft durchgeführten Untersuchungen, ohne daß es im weiteren Verlauf der Gravidität zu Störungen oder Schädigungen der Frucht oder der Mutter gekommen wäre. Wenn dennoch auch heute noch manchmal Bedenken gegen die diagnostische Anwendung des Ultraschalls laut werden, so liegt das daran, daß Publikationen tierexperimenteller Ergebnisse, die über Organschädigungen durch Ultraschall berichteten, viel Verwirrung gestiftet haben. Überprüfungen solcher Berichte haben ergeben, daß derartige Veränderungen auf eine grobe Überdosierung zurückzuführen sind (Kratochwil). Die Intensitäten waren so hoch, daß

die durch die Ultraschalleinwirkung auftretende Absorptionswärme so groß wurde, daß es zu einer Verkochung des Gewebes kam, so wie wir es sonst nur nach Elektrokoagulation beobachten können.

Niemals wurde bisher über Ultraschallschädigungen der Art berichtet, wie sie bekanntermeise bei ionisierenden Strahlen auftreten. Diese Tatsache unterstreicht nochmals die Ungefährlichkeit der Ultraschalldiagnostik und begründet somit den Vorzug, den man ihr der Röntgendiagnostik gegenüber gibt.

4. A-Bild und B-Bild

Wie bereits oben erwähnt, finden in der Diagnostik zwei Ultraschall-Techniken Anwendung. Die eine, die uns am Oszillographen in Form einer Zackenschrift Auskunft gibt, nennt man A-Bild (= A-scan), die andere, die aus einzelnen Lichtpunkten ein Bild erzeugt, bezeichnet man als B-Bild (= B-scan) oder Schnittbild. In beiden Fällen schaltet der Ultraschallsender sofort nach Aussendung eines jeden Impulses auf Empfang. An den reflektierenden Grenzflächen wird ein Teil der Schallwellen zurückgeschickt, die am piezoelektrischen Kristall wieder eine Spannungsänderung hervorrufen, welche in elektrische Potentiale umgewandelt werden und auf einer Braun'schen Röhre sichtbar werden (als Punkt oder als Zacke)(20).

4.1. A-Bild (38)

Bei der Darstellung der Untersuchungsergebnisse mit Hilfe des A-Bildes wandert der Elektronenstrahl von links nach rechts über den Bildschirm, proportional zur Zeit. Die Spannungsänderung am Kristall infolge des eintreffenden Echos führt zu einer vertikalen Auslenkung des Elektronenstrahles und somit zur Zeichnung einer Zacke (Zeit-Amplitudentechnik). Die Entfernung dieser Auslenkung vom Sendeimpuls entspricht

dabei der Zeit, die zwischen Aussenden des Impulses und Eintreffen des Echos verstrichen ist. Folglich kann bei bekannter Schallgeschwindigkeit die Tiefe der Reflektionsfläche bestimmt werden oder aus zwei Wandechos die Ausdehnung des Körpers berechnet bzw. abgelesen werden. Weitere Aussagemöglichkeiten über die Reflektionsfläche ergeben sich aus der Amplitudenhöhe und der Form der einzelnen Echozacken. Die Amplitude entspricht hier der reflektierenden Energie. Da sich auch beim Ultraschall der Einfallswinkel und Reflektionswinkel entsprechen müssen, können Grenzflächen nur dann richtig erkannt werden, wenn das Schallbündel senkrecht auf sie trifft. Bei Bewegung des Tastkopfes wird sich also der Einfallswinkel des Schallbündels dauernd ändern und als Folge eine Änderung des Echobildes erkennbar sein, natürlich immer abhängig von der Prüfkopfstellung.

Die Aufgabe des Untersuchers ist es, sich auf Grund dieser Änderung der Echozacken ein Bild über die Lage, die Tiefe und den Verlauf der Reflektionsflächen zu machen.

Diese etwas verwirrenden Verhältnisse haben dazu geführt, daß die Forderungen nach einer anschaulicheren Darstellung, ähnlich einem Röntgenbild, für die medizinische Diagnostik immer lauter wurden. Man ist also dazu übergegangen, Geräte zu konstruieren, die von dem

Untersuchungsgegenstand ein Schnittbild erzeugen und dadurch ohne Zweifel ein anschaulicheres Bild liefern.

4.2. B-Bild (41)

Bei diesem System wird die am Kristall auftretende Spannung zur Helligkeitsmodulation des Elektronenstrahles benützt, wobei eine Elektrode, der die Spannung zugeführt wird, die Helligkeit des Elektronenstrahles steuert. Eine Anzeige erfolgt erst, wenn ein gewisser Schwellenwert überschritten wird (Alles-oder-Nichts-Gesetz). Bewegt sich der Tastkopf an der Oberfläche entlang, so reiht sich Lichtpunkt an Lichtpunkt und es entsteht der Umriß des zu untersuchenden Objekts. Diese einfache Untersuchungsart, wo man den Prüfkopf nur in eine Richtung bewegen kann, nennt man Linear scan. Wild und Reid wandten die Art bei der Untersuchung von Mammatumoren an (64). Solange eine Fläche vom Schallbündel nur aus einer Richtung erreicht werden kann, wird es beim menschlichen Körper nur dem Zufall überlassen sein, welche Fläche innerhalb des Körpers gerade senkrecht zu den einfallenden Schallwellen liegt und folglich abgebildet wird.

Eine gewisse Abhilfe schaffte ein Verfahren, welches als "Compound scanning" bezeichnet

wird. Der Einfallswinkel des Schallbündels wird dabei dauernd geändert, so daß die einzelnen Reflexionsflächen von verschiedenen Richtungen her erreicht und aufgezeichnet werden. Holmes untersuchte mit dieser Methode Anfang der 60iger Jahre abdominelle Erkrankungen (24).

Um die Luftbarriere zwischen Schallkopf und Gewebe zu überbrücken, benutzte man bei den ersten Versuchen die Wasserankopplung, wobei anfangs die Patienten einfach in einen Wassertank gesetzt wurden. Eine erhebliche Verbesserung der Schnittbildmethode brachte das von Donald entwickelte Verfahren, wo er auf das Wasserbad verzichtet und die Ankopplung des Schallkopfes an die Haut mittels Öl durchführt (5). Diese Methode wurde besonders in Hinblick auf die Bedürfnisse in der Geburtshilfe und Gynäkologie entwickelt.

Zu ähnlich guten Ergebnissen wie Donald (6) kam auch der Schwede Sundén (55), der mit dem gleichen Gerät ebenfalls zahlreiche Untersuchungen in der Schwangerschaft durchführte und zur Abklärung gynäkologischer Tumoren das Gerät benutzte.

1966 wurde erstmals von Hofmann, Holländer und Weiser (18) über ein neues Schnittbildgerät der Firma Siemens berichtet, bei dem zur Herstellung des Bildes das Spiegelsystem, wie es Hertz und

Olofssen (17) beschrieben, in Anwendung gebracht wird. Auch an der Universitätsfrauenklinik zu Berlin wird mit diesem neuartigen Gerät, welches durch Siemens unter dem Namen "Vidoson 635" in den Handel gelangte, gearbeitet.

5. Das Ultraschallschnittbildgerät Vidoson

Die Versuche, über die unten berichtet wird, wurden mit dem Vidoson 635 durchgeführt. Hersteller ist die Siemens AG Erlangen.

5.1. Methode zur Herstellung von Ultraschall-Schnittbildern in rascher Aufeinanderfolge (32)

Wie die anderen Schnittbildgeräte, so macht auch das Vidoson vom sogenannten Sonar Prinzip, bekannt aus der Nautik, Gebrauch.

Wir treffen hier auf ein Gerät, welches mit einer neuartigen Scannertechnik es ermöglicht, Schnittbilder vom menschlichen Körper zu machen, die in so kurzen Zeitintervallen und so schneller Aufeinanderfolge auf dem Leuchtschirm einer Bildröhre sichtbar werden, daß ein Betrachter nicht nur stationäre Zustände beobachten kann, sondern auch Bewegungsvorgänge direkt erkennen, photographieren und sogar filmen kann. So kann z.B. die kindliche Herzaktion in utero direkt beobachtet und ausgezählt werden (22). Weiterhin können Kindsbewegungen schon etwa ab der 12. Schwangerschaftswoche nachgewiesen werden (21). Das ist bei den Fabrikaten der anderen Firmen nicht möglich.

Wie oben berichtet, werden die von Grenzflächen reflektierten Ultraschallwellen bei dem B-Bild Verfahren als einzelne Punkte sichtbar. Auf dem Leuchtschirm der Bildröhre erzeugen diese Bildpunkte eine vertikal verlaufende Bildzeile, die in etwa 0,2 msec aufgeschrieben wird. In dieser Zeit legt der Ultraschall im menschlichen Gewebe annähernd 30 cm zurück, wenn man eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von ungefähr 1500 m/sec zu Grunde legt (45). Die Eindringtiefe wäre demnach 15 cm, weil der Impuls den Weg hin und zurück durchlaufen muß.

Die Vertikale Ablenkung des Elektronenstrahles muß folgendermaßen gelesen werden. Die Leuchtpunkte, die auf dem Schirm oben zur Abbildung gelangen, sind den ersten Reflexionsflächen zuzuordnen. Am unteren Rand des Oszillographen finden wir die Punkte, die den in etwa 15 cm Tiefe gelegenen Flächen entsprechen, da ja für diese Reflexionsflächen der Schallstrahl den weitesten Weg zurücklegen mußte. Abb. 2 verdeutlicht das eben gesagte. Pro Bild werden ca. 140 vertikale Zeilen geschrieben, das entspricht bei einer maximalen Abbildungsbreite von 140 mm einer Zeilenzahl von etwa einer Zeile pro Millimeter. Die horizontale Ablenkung des Elektronenstrahles dauert 70 msec und zwar erfolgt sie synchron und maßstabsgetreu mit der seitlichen Verschiebung des Ultraschallabtaststrahles. Somit ist eine einwandfreie Zuordnung der einzelnen Bildpunkte zu dem jeweiligen Entstehungsort möglich.

Die seitliche Parallelverschiebung des Ultraschallabtaststrahles wird mit Hilfe eines rotierenden Ultraschallimpuls-Richtstrahlsenders im Zusammenwirken mit einer Ultraschallspiegeloptik erreicht.

Die Spiegeloptik hat den Zweck, die zeilenweise Abtastung des Objektes in möglichst rascher Folge durchzuführen.

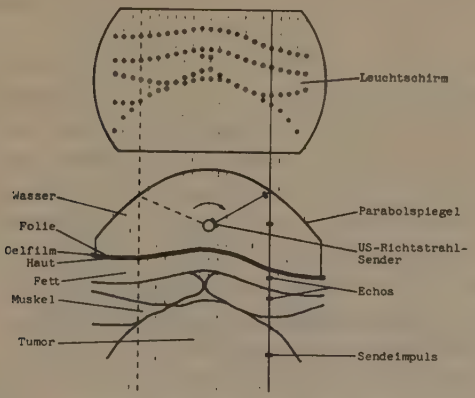


Abb. 2 Scanning Prinzip beim Ultraschallschnittbildgerät "Vidoson"

Wie man aus Abb.2 ersehen kann, handelt es sich um einen zylindrischen (senkrecht zur Zeichenebene) Parabolreflektor, in dessen Brennlinie (senkrecht zur Zeichenebene) der Richtstrahler

rotiert; er strahlt bei jedem Impuls nur einen kleinen Sektor des Zylinderparaboloids an. Die Rotation erfolgt mit 8 Umdrehungen pro Sekunde. Um für das Auge des Beobachters eine Verschmelzung der einzelnen Bilder zu erreichen, wird die Bildfolge auf 16 Hz erhöht. Das geschieht durch einen zweiten, symmetrisch zur Brennlinie, dem anderen gegenüberliegend angeordneten gleichartigen Ultraschallkopf. Impulse gehen nur von dem Ultraschallkopf aus, der dem Reflektor zugewandt ist. Der andere Schallsender, der dem Reflektor abgewandt ist, wird vorübergehend außer Betrieb genommen, bis er selbst in Richtung des Reflektors ausstrahlt; dann aber schaltet sofort der erste Schallkopf ab, da der Parabolreflektor nur einen Winkel von 180° erfaßt (33). Nach der Reflexion an der Parabolfläche läuft der Impuls in das Untersuchungsgebiet hinein (siehe Abb. 2). Bedingt durch die im Vergleich zur Schallausbreitung langsame Rotation des Schallkopfes (16/2 Umdrehungen/sec) verschiebt sich jedesmal der Reflexionspunkt am Spiegel um einen kleinen Betrag (ca. 1 mm), man erhält so eine zeilenweise Abtastung der Untersuchungsebehenin einer Folge von etwa 16 Hz. Die zeilenmäßige Abtastung des Gewebeabschnittes erfolgt also selbstständig, ohne daß eine Relativbewegung zwischen dem aufgesetzten Applikator und dem Untersuchungsobjekt erforderlich wäre, wie das bei den meisten anderen Schnittbildgeräten der Fall ist.

Sender und Spiegeloptik befinden sich in einem Gefäß, welches mit 5 l Aqua bidest. gefüllt ist, damit Absorptions- und Reflexionsverluste bei der Übertragung der Schallenergie möglichst niedrig gehalten werden (52). Die Öffnung des Gefäßes ist mit einer schalldurchlässigen Kunststoffolie verschlossen. Hier wird der zu untersuchende Teil des Patienten mit Hilfe eines wasserlöslichen Gels ("Aquasonic 100" der Firma Parker Laboratories) angekoppelt. Dieser Applikator ist in Abb. 3 auf der rechten Seite zu erkennen.

Die Ultraschallfrequenz, die bei dem eben beschriebenen Verfahren zur Anwendung gelangt, liegt bei etwa 2,5 MHz und ist nicht veränderlich. Bei dieser Frequenz wird eine verhältnismäßig große Eindringtiefe erreicht (15 cm), wobei auch das Auflösungsvermögen zufriedenstellend ist (1 mm). Das helle Leuchtschirmbild, das keine Dunkeladaption des Untersuchers und keine Verdunkelung des Untersuchungsraumes erfordert, liefert maßstabsgetreue Bilder im Verhältnis 1 : 1,5, wobei ein Rasterquadrat 2 x 2 cm in der Wirklichkeit entspricht (53). Die ausgesendeten Ultraschallimpulse sind etwa 1 /usec lang; pro Sekunde werden etwa 2000 Impulse abgestrahlt. Die Ultraschallintensität erreicht maximal 10 mW/cm^2 und liegt damit weit außerhalb der Intensitäten, die eventuell schädigende Wirkungen auf den lebenden Organismus ausüben könnten. Zur Schallerzeugung wird eine polykristalline keramische

Masse, Bariumtitanat, verwendet (billiger als Einkristalle wie z.B. Quarz, und bessere technische Eigenschaften). Der Schwinger wird auf der von der Strahlenrichtung abgewandten Seite mit einem Kunststoffblock mechanisch gedämpft (zur Erzeugung von kurzen Schallimpulsen nötig), dieser Kunststoffkörper ist auf den Schwinger direkt aufgegossen. An diesem Körper wird der Schwinger gehältert und befestigt (34).

5.2. Beschreibung des Vidosongerätes

Abb. 3 Gesamtansicht des Vidosongerätes, Beschreibung siehe Text

Abbildung 3 zeigt das Ultraschallschnittbildgerät Vidoson der Firma Siemens AG. Rechts im Bild erkennt man den Ultraschallapplikator, in dem der rotierende Ultraschallimpuls-Richtstrahlsender mit Antriebs- und Verstellmotor sowie die Ultraschallspiegeloptik unterge-

bracht sind. Der Verstellmotor ermöglicht eine kontinuierlich veränderliche Schnittebenenverschiebung in einer Einstellung, das heißt, daß der Applikator nicht verschoben werden muß. Über ein Stativ kann der Applikator mittels elektromagnetischer Bremsen in jeder Höhe an der Stativsäule (Mitte des Bildes) arretiert werden. Links in Abb. 3 erkennt man das Sichtgerät mit dem vorgeklappten Photovorsatz. Im Sichtgerät sind außer der Bildröhre noch der Hochfrequenzimpulssender, das Zeilenkippgerät und der Echoimpulsverstärker mit elektronischem Tiefenausgleich eingebaut (32). An der linken Längsseite des Sichtgerätes befinden sich 3 Regulierknöpfe (Abb. 4), mit deren Hilfe die Bildqualität beeinflußt werden kann.

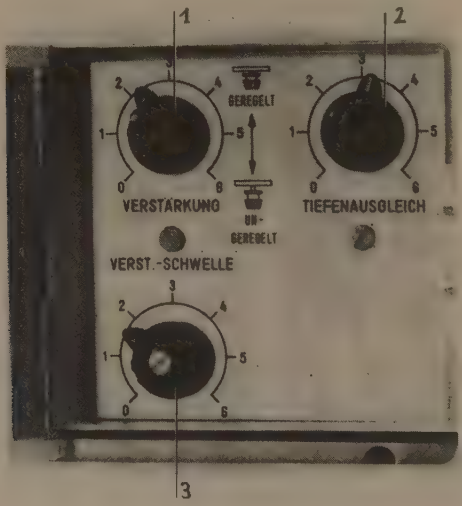


Abb. 4 Regulierknöpfe, mit deren Hilfe die Bildqualität beeinflußt werden kann

Es sind dies die Regler für "Verstärkung" (1), "Tiefenausgleich" (2) und "Verstärkungsschwelle" (3).

Der Knopf (1) regelt stufenlos die Verstärkung der Impulse, die durch die Echos erzeugt werden. Man stellt mit diesem Regler die optimale Helligkeit ein; diese ist dann erreicht, wenn die Hautlinie und die dicht darunter liegenden Grenzflächen (Fettgewebe) ohne Überstrahlung klar auf dem Leuchtschirm abgebildet werden. Die beste Einstellung findet man im allgemeinen zwischen 2 und 2,5.

Mit Hilfe des "Tiefenausgleichs" (2) läßt sich die Ultraschallabsorption der Gewebe auf elektronischem Wege kompensieren. Bei schlechter Schalleitung wird zur genügenden Aufhellung der unteren Bildhälfte oft eine Einstellung zwischen 4 und 5 erforderlich sein, um die Echos der tieferen Gewebeschichten ausreichend darzustellen. Meist erreicht die Detailerkennbarkeit des Leuchtschrimbildes den günstigsten Bildeindruck schon zwischen 1 und 2.

Der Regler "Verstärkungsschwelle" (3) reguliert den Schwellwert. In Stellung Null werden auch die schwachen Echos dargestellt, man erhält ein sogenanntes weiches Bild (nach Holländer) und kann auch die feinen Strukturen erkennen. Bei Stellung 6 werden dagegen nur die Echos höherer Intensitäten registriert, das Bild wird

"hart", man erhält eine kontrastreiche Darstellung der Grenzflächen (53, 23).

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß das Vidosongerät nicht wie die meisten anderen Schnittbildgeräte fest auf einem Platz fixiert ist. Alle Teile sind auf einem fahrbaren Untersatz montiert, um den Apparat schnell an das Untersuchungsbett zu bringen. Weiterhin gestattet die Beweglichkeit eine Anwendung im Kreißsaal sowie eine Ultraschallüberwachung unter der Geburt (u.a. psychologischer Effekt) (63).

6. Intrauterine Schädelmessungen mittels Ultraschall

Die Schädelmessungen lassen Rückschlüsse auf den Zustand des noch nicht geborenen Kindes zu. Mit Hilfe der Durchschallung lassen sich auch kongenitale Mißbildungen wie Anencephalus und Hydrocephalus erkennen (7).

6.1. Anliegen

Uns ging es in erster Linie um die Überprüfung der Meßgenauigkeit des an unserer Klinik aufgestellten Vidosongerätes. Wir wollten für spätere Untersuchungsreihen wissen, mit welchen Meßfehlern die Ableseergebnisse an diesem Ultraschallschnittbildgerät behaftet sind.

Um dieses Problem zu lösen, wählten wir die Messung der Schädeldurchmesser des noch nicht geborenen Kindes und verglichen diese Größen nach der Geburt mit den durch den Beckenzirkel ermittelten Durchmessern. Die Beckenzirkelmessung erfolgte sofort nach der Geburt, die Echolotuntersuchung lag in keinem Falle weiter als sechs Tage zurück. Gemessen wurde jeweils der biparietale und der frontooccipitale Durchmesser.

6.2. Patientengut

In der Zeit vom 1.2.69 bis 13.6.69 wurden an über 300 Patientinnen die soeben geschilderten Untersuchungen durchgeführt. Es kam uns nicht darauf an, besonders viele Zustände von Diabetes oder Mangelentwicklungen zu überprüfen, so daß es sich bei den Gebürten und Kindern meist um nicht pathologische Fälle handelte. Auch legten wir keinen Wert auf bestimmte Schwangerschaftswochen, sodaß sich eine normale Verteilung über die einzelnen Wochen ergab.

Die folgende Abbildung 5 zeigt ein Säulendiagramm, in welchem die verschieden lange Tragzeit der intrauterin gemessenen Kinder gegen die Anzahl der Fälle aufgetragen ist.

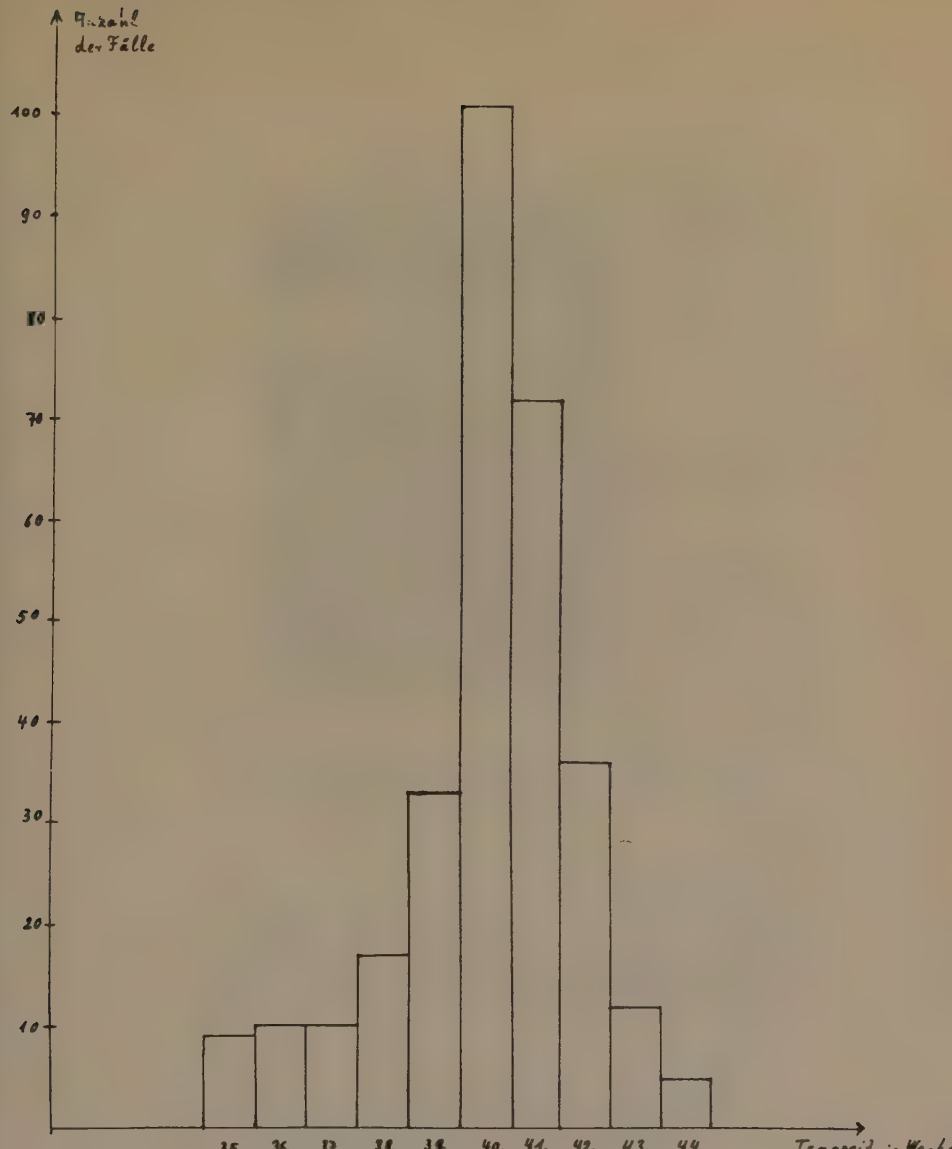


Abb. 5 Verteilung der Tragzeit gegen die Anzahl der beobachteten Kinder.

Man sieht deutlich, daß die überwiegende Zahl der Grundgesamtheit in den Wochen 38 bis 42 geboren wurde. Von den 305 beobachteten Kindern waren es 267, das entspricht ungefähr 87,5 %.

6.3. Untersuchungsvorgang und Bildverwertung

Die bei den ersten einhundert Patientinnen durchgeführten Ultraschalluntersuchungen sollten uns Gelegenheit geben, mit dem Umgang des Gerätes vertraut zu werden. So erfolgte zum Beispiel die Kopfmessung der Feten mit einer Ablesegenauigkeit von nur 0,5 cm. Weiterhin ließen auch die Photos, geschossen mit einer Polaroidkamera mit einem Polaroidfilm 32 Din, Blende 4, Belichtung 0,5 sec, der kindlichen Schädel noch zu wünschen übrig. Abbildung 6 zeigt ein solches Photo, bei dem die Konturen des Kopfes verschwommen, ungenau und zu breit sind. Weiterhin war Regler 1 zu weit aufgedreht, so daß eine Überstrahlung der mütterlichen Bauchdecken zu Stande kam.

Abb. 6 Eines der ersten, noch mangelhaften Photos eines kindlichen Schädels kurz vor der Geburt

Nach einiger Übung war es uns möglich, auf dem Leuchtschirm des Vidosongerätes bis auf 0,25 cm genau abzulesen, was unseren Anforderungen vollauf genügte, da die Nachmessung mit dem Beckenzirkel ebenfalls eine Ablesegenauigkeit von höchstens 0,25 cm gestattete. Die Photographien der kindlichen Schädel zeigten mit der Zeit gute Bilder, wie wir es in Abb. 7 sehen können.

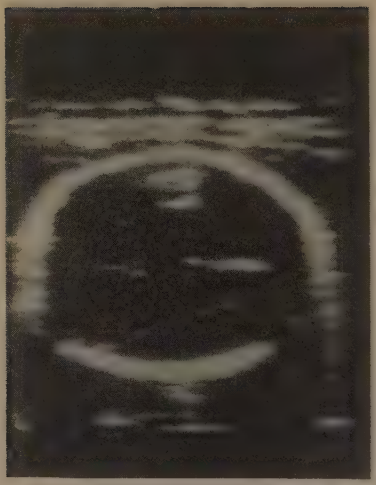


Abb. 7 Aufnahme eines kindlichen Schädels mit deutlichem Mittelecho

In Abb. 7 erkennt man die typische ovale Form, die immer dann mit den größten Durchmessern zu Tage tritt, wenn das Ultraschallbündel genau ein Schnittbild durch das planum fronto-occipitale liefert. Die Aufnahme zeigt oben drei horizontal verlaufende helle Linien. Es sind dies von oben nach unten: Die mütterliche Bauchdecke, die Bauchmuskulatur und die Uteruswand. Die auf der großen Halbachse des Kopfovals befindlichen Aufhellungen nennt man Mittelecho. Ein Mittelecho kommt je nach An-

satzpunkt der Schallquelle durch die Reflexion an den Wänden des Ventrikels, dem Septum pellucidum, dem Interhemisphärenspalt und der Falx cerebri zu Stande (30, 31, 51).

Die Ausmessung des Leuchtschirmbildes erfolgte jeweils von den äußeren Rändern der hellen Schädelkontur. In Abb. 7 sind das biparietal 9 cm und frontooccipital 12 cm (entspricht 9 x 12),was genau der postnatalen Nachmessung entsprach. Würden wir die beiden inneren Ränder als Meßgrenze nehmen, so lägen die ermittelten 7,5 x 10 cm weit unter der wahren Größe. Bei über fünfzig Patientinnen haben wir beide eben angegebenen Randmessungen durchgeführt und konnten erkennen, daß zur Auswertung nur die Messung von Außenrand zu Außenrand herangezogen werden darf, da im anderen Falle alle Messungen weit unter der wahren Größe lagen.

7. Ergebnisse

7.1. Meßgenauigkeit des Gerätes

Um die Meßgenauigkeit unseres Vidosongerätes festzustellen, wurden die Ergebnisse von 202 intrauterinen Schädelmessungen ausgewertet. Die folgenden Abbildungen sollen unsere Meßwerte verdeutlichen.

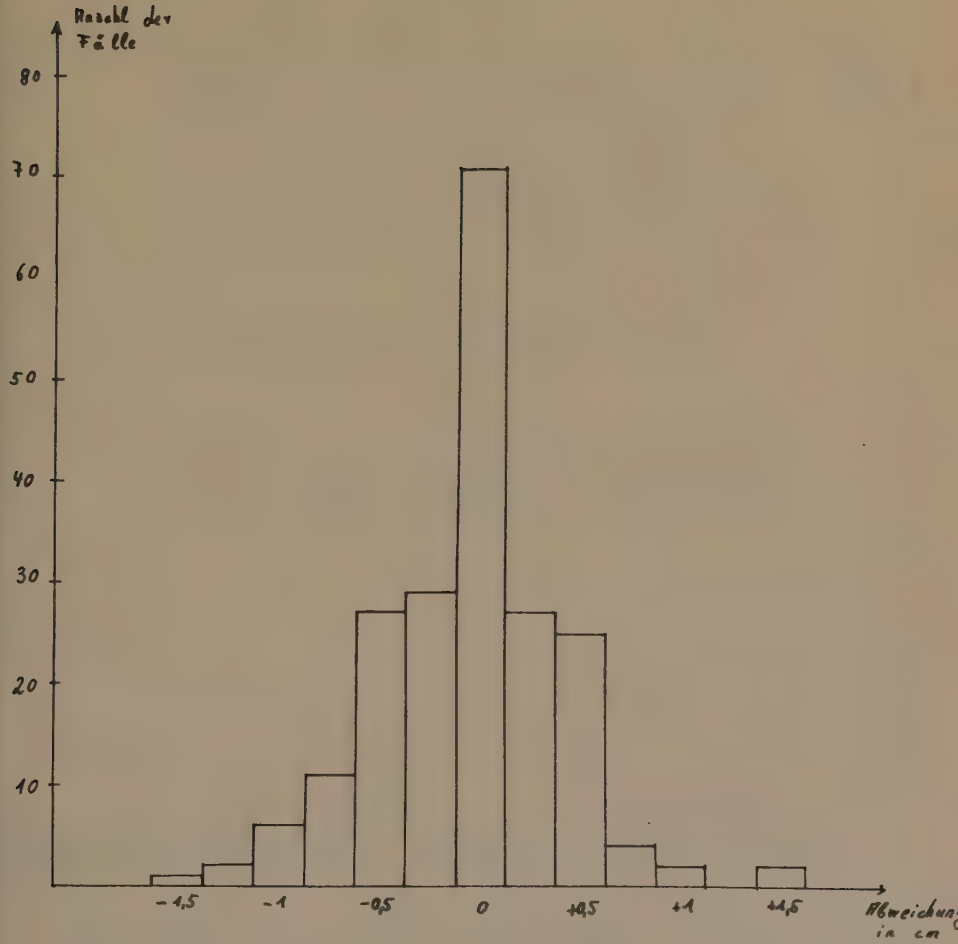


Abb. 8 Post partum Abweichung des biparietalen Schädeldurchmessers von der intrauterin gemessenen Größe

(202 Fälle)

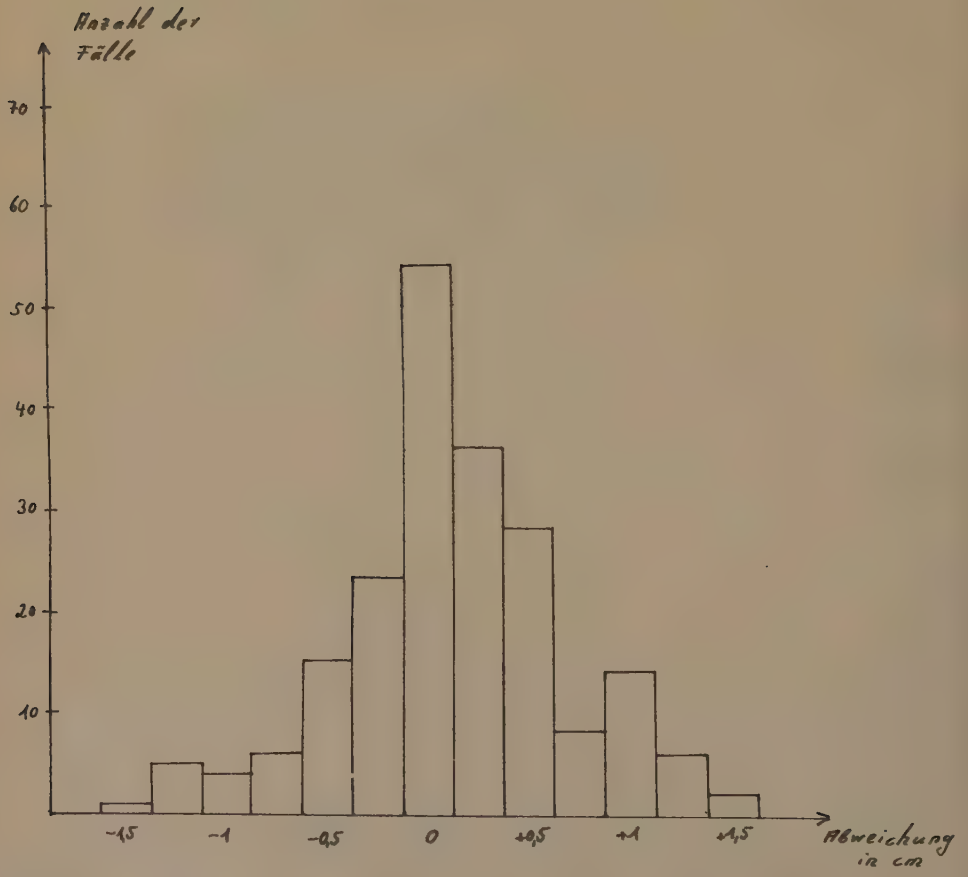


Abb. 9 Post partum Abweichung des fronto-occipitalen Schädeldurchmessers von der intrauterin gemessenen Größe. (202 Fälle)

Abb. 8 gibt ein Säulendiagramm wieder, in welchem die Abweichungen der post partum gemessenen biparietalen Schädeldurchmesser von den intrauterinegemessenen Ultraschallgrößen gegen die Zahl der Fälle aufgetragen ist. Man sieht aus diesem Diagramm zum Beispiel, daß bei 29 Kindern der post partum gemessene biparietale Durchmesser um 0,25 cm kleiner war als der vor der Geburt mit Ultraschall gemessene Diameter.

Abb. 9 zeigt eine analoge Aufstellung für die Abweichung der fronto occipitalen Durchmesser bei der gleichen Gesamtmenge.

Eine größere Aussagekraft haben die in Abb. 10 und Abb. 11 skizzierten kumulierten Verteilungen der Schädelgrößenabweichungen von den Ultraschallmessungen.

Abb. 10 Kumulierte Verteilung der biparietalen Schädelgrößenabweichungen von den Ultraschallmessungen.

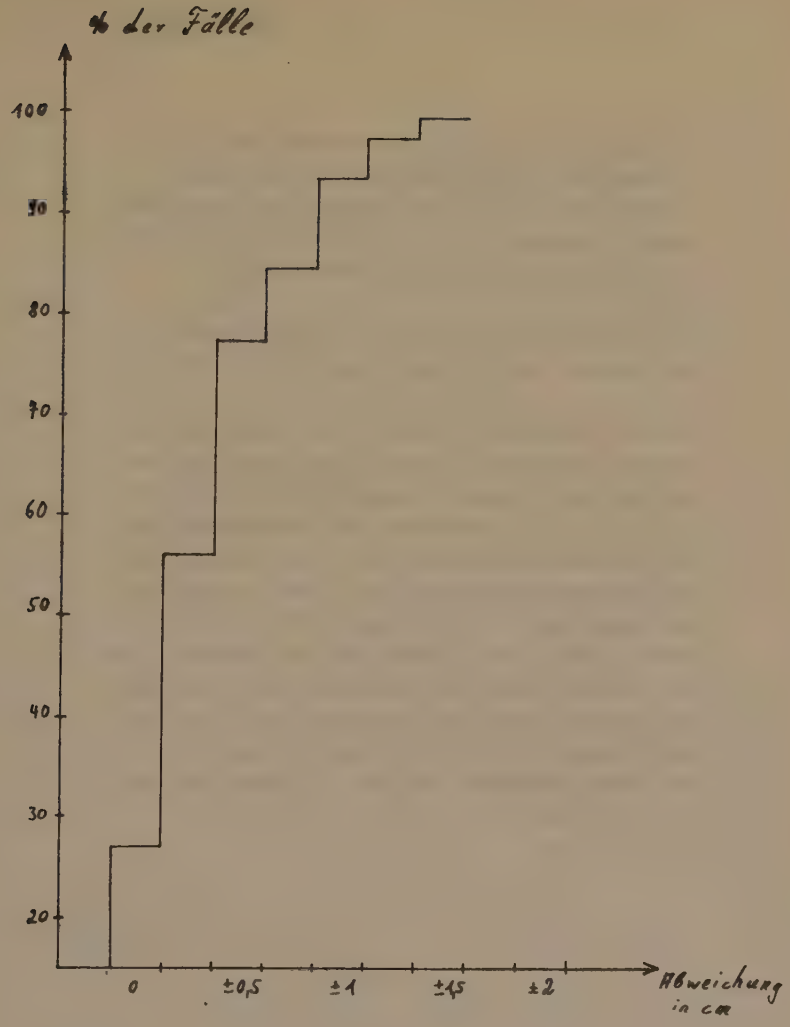


Abb. 11 Kumulierte Verteilung der fronto-occipitalen Schädelgrößenabweichungen von den Ultraschallmessungen.

Aus Abb. 10 erkennen wir zum Beispiel, daß in etwa 88,5 % der Fälle der biparietale postnatalegemessene Durchmesser des kindlichen Schädels maximal ± 0,5 cm Abweichung von dem mit Ultraschall gemessenen Wert zeigt.

Das entsprechende Diagramm für den fronto-occipitalen Durchmesser zeigt die Abb. 11.

Bei der Ultraschallmessung der Schädeldurchmesser ergeben sich Abweichungen zur positiven wie auch zur negativen Seite. Das heißt: Das eine Mal bestimmt man den Durchmesser mit dem Ultraschallgerät zu klein, das andere Mal zu groß. Man müßte annehmen, daß sich die Abweichungen nach oben und unten in etwa die Waage halten. Das konnten wir bei unseren Versuchen nicht bemerken; vielmehr fiel uns auf, daß die mittleren Abweichungen eine gewisse Abhängigkeit von den post partum gemessenen Schädeldurchmessern zeigen und nicht etwa bei ± 0 cm liegen.

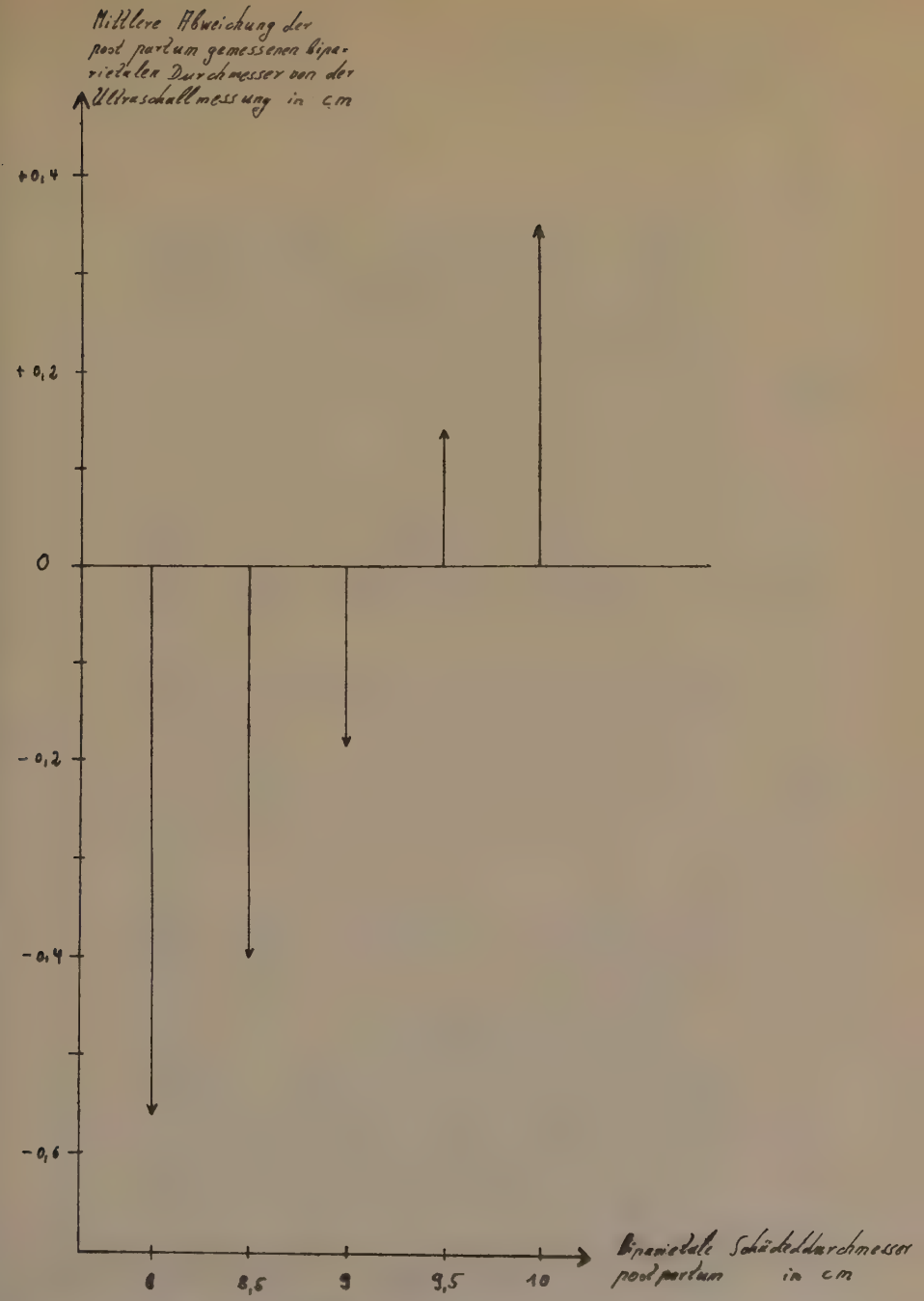


Abb. 12 Mittlere Abweichungen verschiedener biparietaler Schädeldurchmesser von der Ultraschallmessung

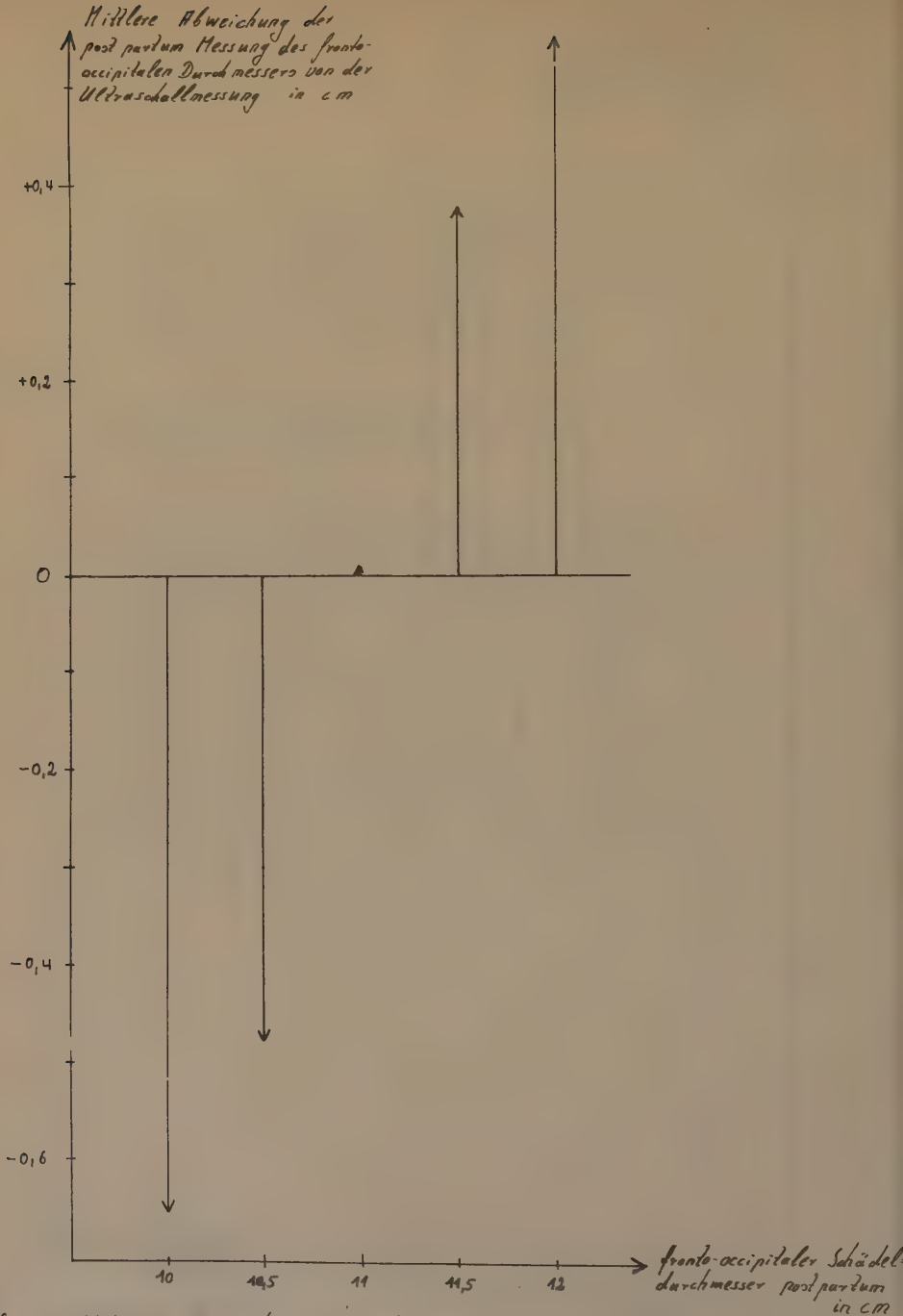


Abb. 13 Mittlere Abweichung verschiedener fronto-occipitaler Schädeldurchmesser von der Ultraschallmessung

In Abb. 12 und Abb. 13 sind die verschiedenen Schädeldurchmesser gegen ihre entsprechende mittlere Abweichung aufgetragen. Die Schädelgrößen 8,25 cm, 9,25 cm usw. wurden abgerundet, die Größen 8,75 cm, 9,75 cm usw. aufgerundet und den nächsten Ganzcentimetergrößen zugeschlagen. Da die geringe Anzahl das Bild etwas verfälscht hätte, wurden für den biparietalen Durchmesser nur die Größen von 8 - 10 cm, für den fronto-occipitalen Durchmesser nur die Größen 10 - 12 cm verwertet. Vereinzelte Werte außerhalb dieser Grenzen blieben unberücksichtigt.

Aus den Diagrammen für den biparietalen (Abb. 12) und den fronto-occipitalen (Abb. 13) Durchmesser wird deutlich, daß bei kleinen Schädeln der post partum gemessene Durchmesser im Durchschnitt kleiner ist als der mit Ultraschall gemessene Wert. Bei großen Kindsköpfen gilt gerade das umgekehrte.

Weiterhin sehen wir aus Abb. 12, daß wir bei der Auslotung des kindlichen Schädels mit dem Ultraschallschnittbildgerät die größte Meßgenauigkeit dann zu erwarten haben, wenn der biparietale Durchmesser zwischen 9 und 9,5 cm liegt. Dann haben wir nämlich eine Schwankung zwischen +1,4 mm und -1,8 mm. Bezogen auf unsere 202 Fälle ist eine wie oben gewünschte günstige Schädelgröße in etwa 67 % der Fälle zu erwarten. Legt man für die post partum Messung alle 305

Frauen der Berechnung zu Grunde, so ist die Erwartung etwa 65 %. Bei größeren Grundgesamtheiten dürfte sich die Prozentzahl nicht erheblich von den eben angeführten unterscheiden.

7.2. Aussagefähigkeit der kindlichen Schädeldurchmesser

Die Schädelmessungen werden aus zwei Hauptgründen durchgeführt:

1. Um Mißverhältnisse zu erkennen
2. Um die Größe und Reife des Feten abzuschätzen (65).

Zu 1. kann kurz folgendes gesagt werden!

Mißbildungen können fast ausschließlich (41) nur mit Schnittbildgeräten festgestellt werden.

Bei generalisiertem Hydrops ist zum Beispiel in Folge der oedematösen Auftreibung der Kopfschwarte eine Doppelkontur im Echogramm zu sehen (22). Es ist auch möglich, einen Hydrozephalus ante partum zu diagnostizieren (7). An unserer Klinik hatten wir während der Untersuchungsreihe einen solchen Fall. Die Diagnose erfolgte mit dem Schnittbildgerät, welches einen abnorm

großen Schädel zeigte und eine auffallend dünne Wand der Calotte. Eine Röntgenaufnahme bestätigte den Befund. Es wurde eine Perforation und Kraniotraxie durchgeführt, da der Kopf trotz guter Wehentätigkeit nicht in das Becken eintrat.

Zu 2.

Schon die alten Geburtshelfer wußten, daß die Reife des Kindes nach Länge, Gewicht und Kopfumfang beurteilt werden kann. Besonders exakte Daten wurden von Hosemann (59) erarbeitet. Der Kopfumfang läßt Rückschlüsse (am besten bei Größen zwischen 26 und 32 cm) auf Schwangerschaftsdauer sowie Länge und Gewicht des Feten zu (25). Da der Kopfumfang des Kindes intrauterin nicht gemessen werden kann, benutzen wir statt dessen bei der praenatalen Echo-Diagnostik als maß den biparietalen Schädeldurchmesser. Der fronto-occipitale Durchmesser wird hierbei seltener herangezogen, weil der biparietale Wert exakter bestimmt werden kann.

7.2.1. Die Zunahme der Durchmesser während der Schwangerschaft

Abb. 14 zeigt eine Wachstumskurve des biparietalen Durchmessers von der 12. bis 41. Woche

(A). Die Kurve wurde an Hand der Literatur aus zwei Anteilen zusammengesetzt. Bis zur 28. Woche wurde nach einer Tabelle von Pfuhl (49) gezeichnet, die Wochen 30 - 41 wurden nach einer Kurve von Willocks (65) übernommen (20). Pfuhls Anteil der Kurve liegen post partum Meßwerte zu Grunde, Willocks Kurventeil stützt sich auf praenatale Ultraschallmessungen.

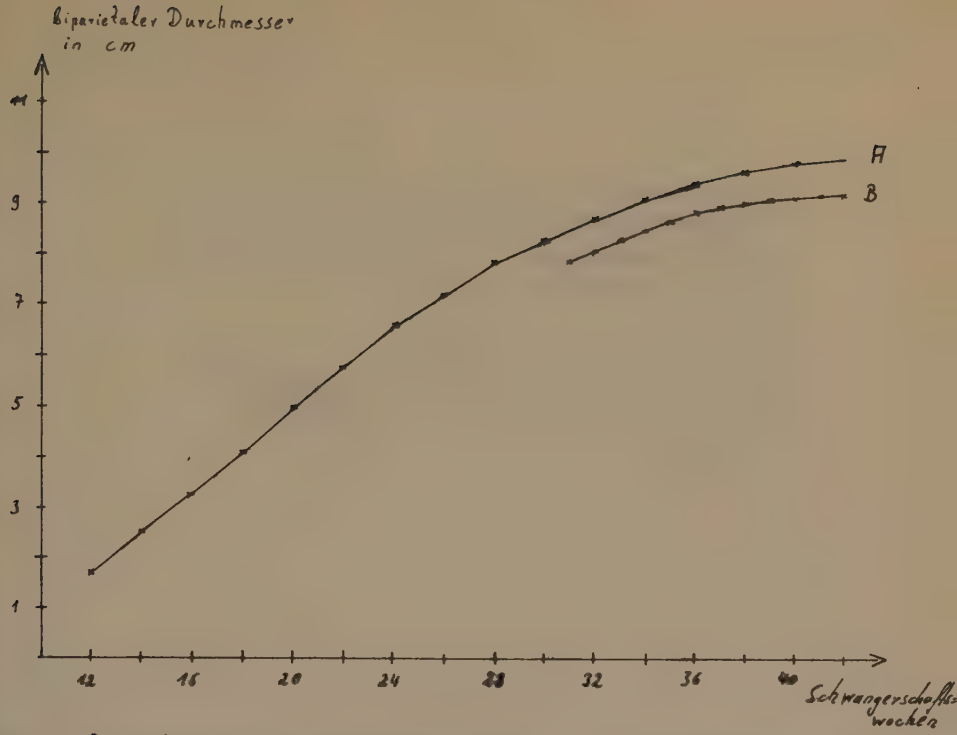


Abb 14 Zunahme des biparietalen kindlichen Schädeldurchmessers während der Schwangerschaft

Kurve A zusammengesetzt:
12. – 28. Woche nach Pfuhl (post partum Meßwerte)
30. – 41. Woche nach Willocks (Ultraschallmeßwerte)

Kurve B nach Thompson (Ultraschallmeßwerte)

Eine von Thompson und Mitarbeitern (60) veröffentlichte Kurve (B) für die Wochen 31 - 42 verläuft parallel zu A, aber im Durchschnitt um 7 mm tiefer (Ultraschallmeßwerte).

Abb. 15 zeigt unsere Ergebnisse für das Wachstum des biparietalen kindlichen Schädeldurchmessers von der 35. bis zur 43. Schwangerschaftswoche.

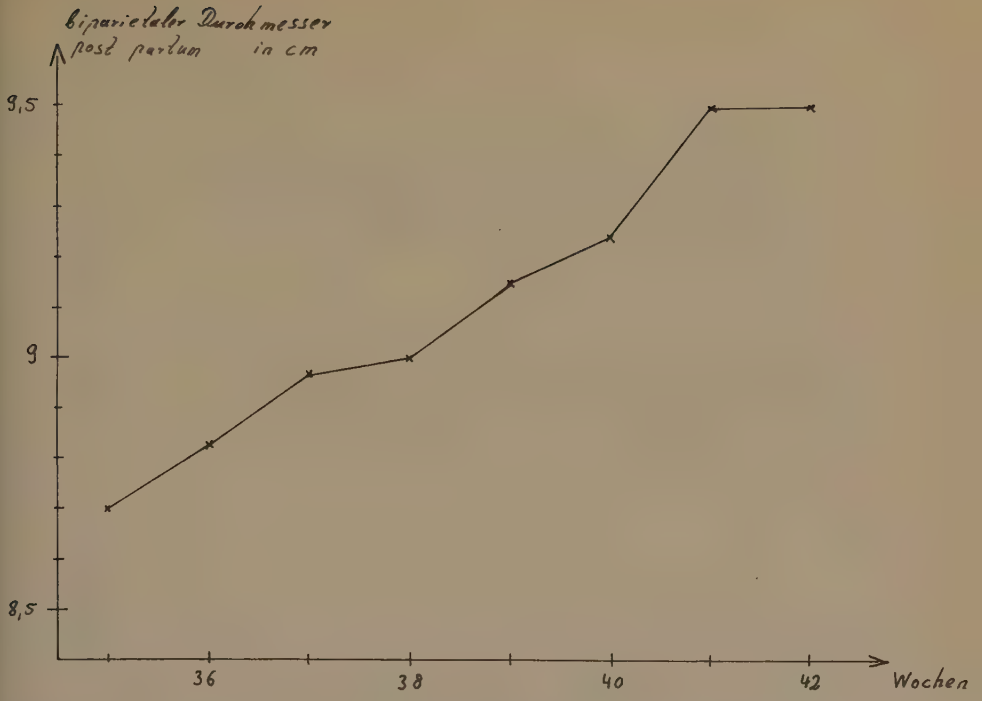


Abb. 15 Biparietale Schädeldurchmesser in verschiedenen Schwangerschaftswochen (Meßwerte postnatal)

Zur Aufstellung der Kurve wurden die postnatal gemessenen Werte der Kinder zu Grunde gelegt. Als Kurvenpunkte dienen die Mittelwerte aus einer jeweils größeren Schar kindlicher Schädel.

Abb. 15 a zeigt die mit dem Echolot gemessenen biparietalen Schädeldurchmesser der einzelnen Schwangerschaftswochen. Bis auf die 36. Woche (nur wenig Meßpunkte) sind S und Sx eingezeichnet.

Abb. 15 b zeigt die gleiche Kurve wie Abb. 15 , nur wurde hier in das Diagramm gestrichelt die Kurve aus Abb. 15 a mit eingezeichnet. Man sieht, daß die postnatalen Meßwerte bis zur 40. Woche im Durchschnitt etwa 1,4 mm tiefer liegen als die Ultraschallwerte.

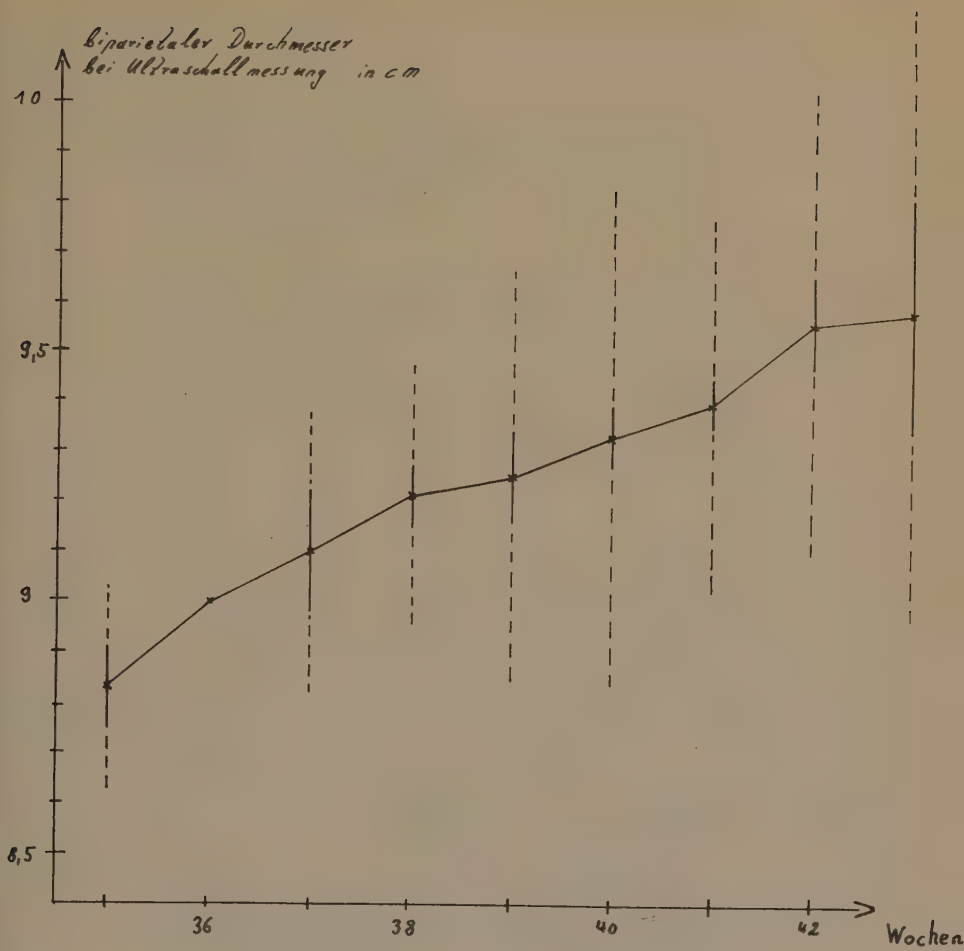


Abb 15a Mit dem Echolot gemessene biparietale Schädeldurchmesser von der 35. bis 43. Schwangerschaftswoche

Die Standardabweichungen sind als senkrechte gestrichelte Linien eingezeichnet, die Standardabweichungen von den Mittelwerden sind als senkrechte durchgezogene Linien zu erkennen.

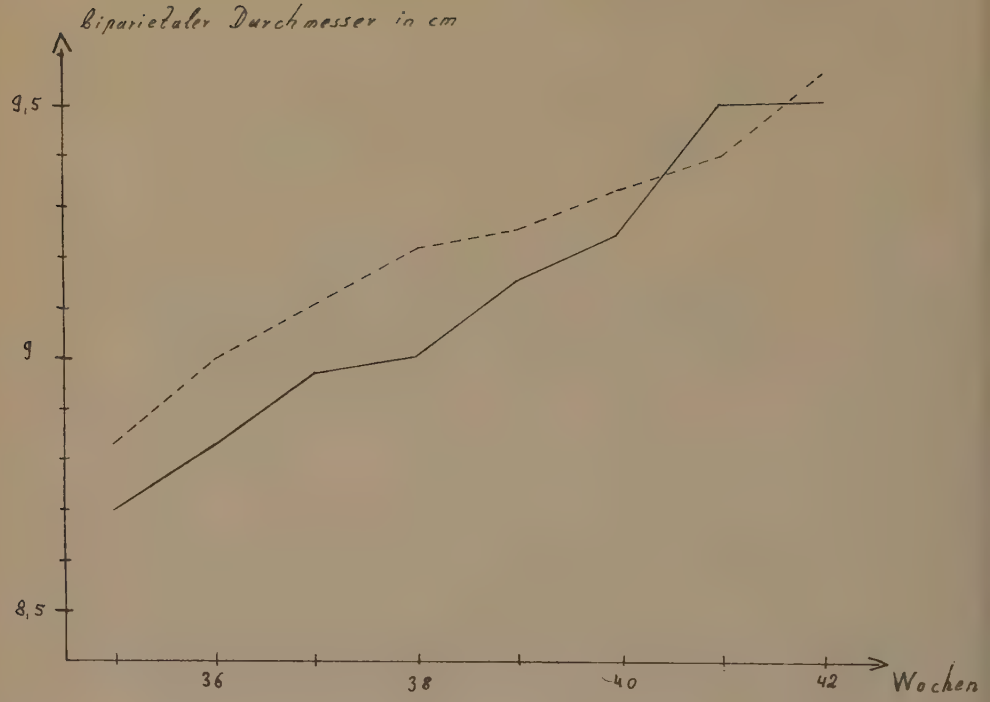


Abb. 15b Biparietale Schädeldurchmesser bis zur 42. Schwangerschaftswoche

Ultraschallmeßwerte : gestrichelte Kurve

Postnatale Meßwerte : durchgezogene Kurve

Würde man unser Ergebnis in Abb. 14 projezieren, so würde unsere Kurve über der von Thompson, aber unterhalb der Kurve A verlaufen.

Nach Abb. 15 liegt die wöchentliche Zuwachsrate des biparietalen kindlichen Schädeldurchmessers bei etwa 1,1 - 1,2 mm (bei post partum Messung) pro Woche. Bei Echo-Messung liegt die entsprechende wöchentliche Zuwachsrate bei ungefähr 1 mm. Diese Werte stimmen ungefähr auch mit den Ergebnissen anderer Autoren überein (20, 26, 65).

Durch die Messung des biparietalen Durchmessers mit Ultraschall können wir die Schwangerschaftswoche angeben, was sich bei unklarem Konzeptionstermin und Regelterminen an unserer Klinik schon mehrfach bewährt hat. Weiterhin kann auch leichter entschieden werden, ob die Geburt eingeleitet werden soll oder nicht. Zur weiteren Abklärung der Fragen kann zusätzlich noch der fronto-occipitale Durchmesser herangezogen werden. In Abb. 16 (Kurvenaufbau wie in Abb. 15) sind die verschiedenen Durchmesser bis zur 42. Schwangerschaftswoche aufgetragen (Durchmesser post partum gemessen).

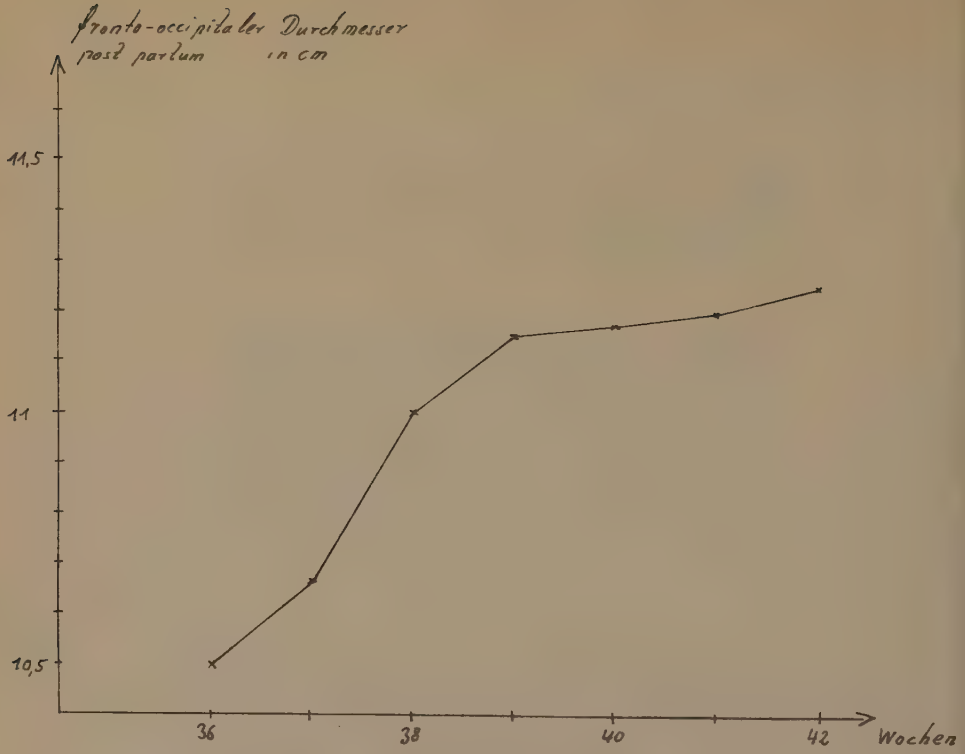


Abb. 16 Post partum gemessene fronto-occipitale Schädeldurchmesser ab 36. Schwangerschaftswoche

Wir verweisen an dieser Stelle auf eine Kurve von Holländer (20) für den fronto-occipitalen Schädeldurchmesser, die durchschnittlich 0,6 mm über unseren Meßwerten verläuft. Charakteristisch für die Aussage über die Dauer der Schwangerschaft ist aber auf alle Fälle der biparietale kindliche Schädeldurchmesser. Die entsprechende Kurve aus den Echowerten zeigt Abb. 16 a. Gestrichelt wurde hier die Kurve aus Abb. 16 mit eingezeichnet.

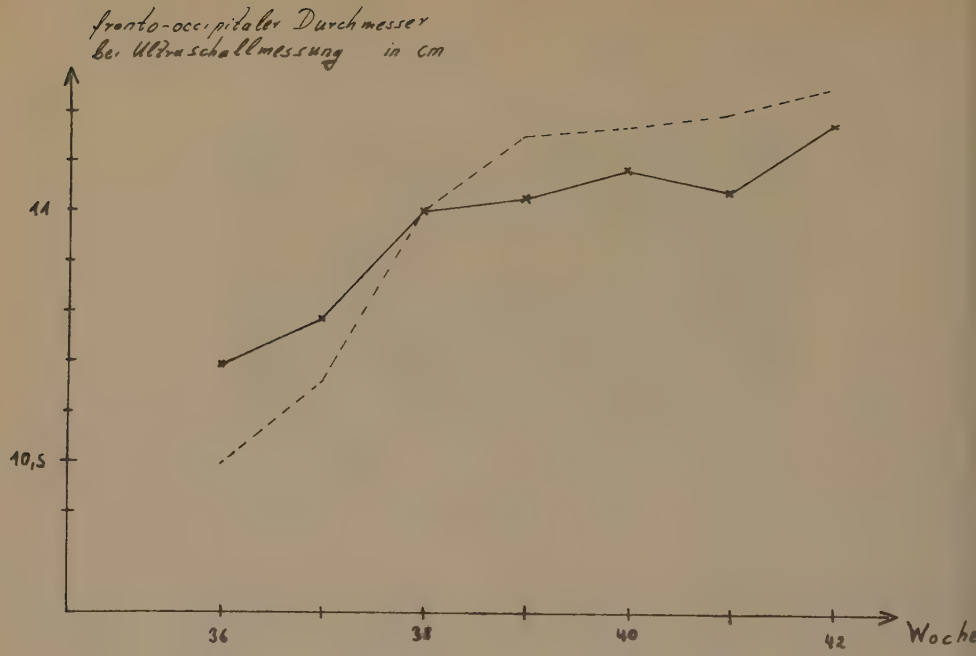


Abb. 16a Mit dem Echolot gemessene fronto-occipitale Schädeldurchmesser bis zur 42. Schwangerschaftswoche

Die gestrichelte Kurve wurde nach postnatalen Messungen zusammengestellt (siehe Abb. 16)

7.2.2. Schädeldurchmesser und Geburtsgewicht

Als sich herausstellte, daß der biparietale Durchmesser schon vor der Geburt mit großer Genauigkeit bestimmt werden kann, ging man daran, Beziehungen zu anderen Größen der Frucht herzustellen.

Schon Willocks und Mitarbeiter (65) hatten versucht, das Gewicht an Hand des biparietalen Durchmessers vor der Geburt zu schätzen.

Thompson und Mitarbeiter (60) berechneten nach folgender Formel das zu erwartende kindliche Gewicht:

$$W = 1{,}060 \times BP - 6{,}575$$

wobei: W = Geburtsgewicht in kg
BP = biparietaler Schädeldurchmesser

Es war so möglich, das Gewicht in 68 % der Fälle auf ± 484 g zu schätzen. Bessere Ergebnisse erzielten die Autoren, wenn sie zur Gewichtsbestimmung noch den Thoraxdurchmesser heranzogen.- Nach Erfahrung unserer Klinik stimmt der Thoraxdurchmesser ziemlich genau mit dem biparietalen Durchmesser überein.- Jetzt lag in 66 von Hundert das geschätzte Gewicht in einer Grenze von ± 300 g zum wahren Gewicht. In der gleichen Arbeit wird veröffentlicht, daß nach Überschreiten der 2000 g Grenze das Gewicht pro Woche um 190 g

ansteigt. Für die Klinik ist es nicht unbedingt notwendig, ein ganz genaues Gewicht zu bestimmen, sondern man will wissen, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, daß bei einem bestimmten Durchmesser ein gewisses Mindestgewicht überschritten ist. Thompson errechnete, daß 91 % der Feten ein Gewicht von über 2500 g erwarten lassen, wenn der biparietale Durchmesser mindestens 8,5 cm beträgt; bei einem Durchmesser von 9 cm steigt die Zahl auf 97 %.

Abb. 17 zeigt die Ergebnisse unserer Klinik.

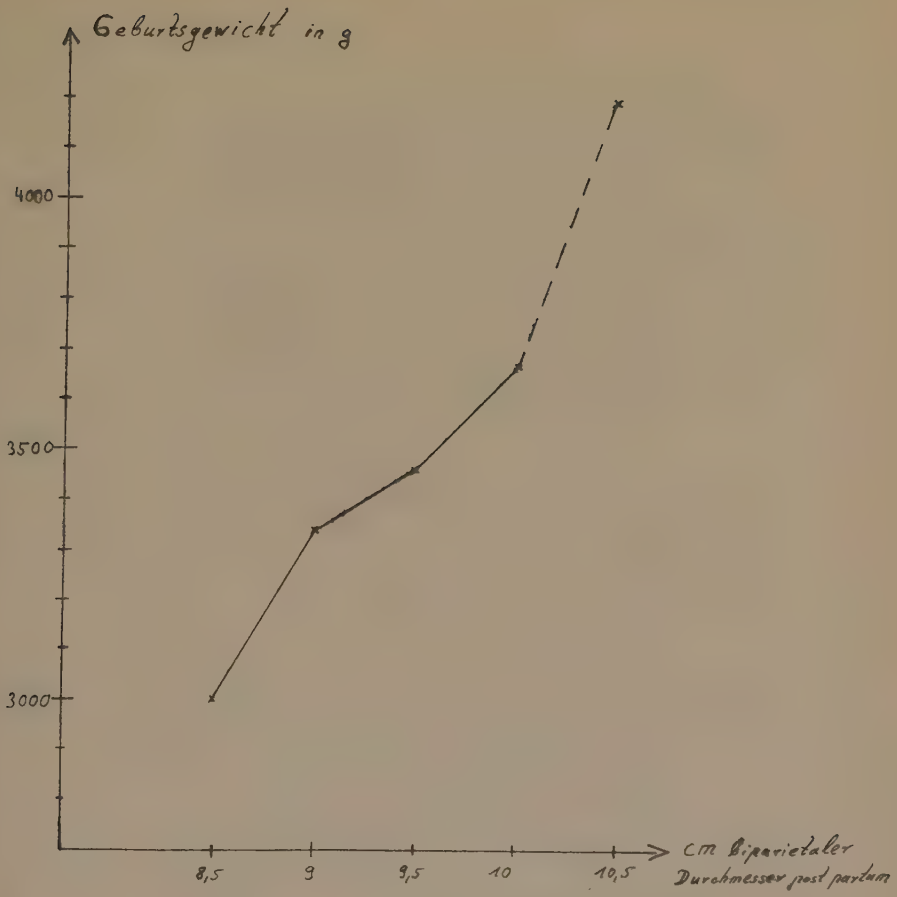


Abb. 17 Verhältnis des Geburtsgewichtes zum biparietalen post partum gemessenen Schädeldurchmesser

Verwendet wurden 305 mit dem Beckenzirkel genommene Meßwerte. Die Kurvenpunkte ergaben sich aus den Mittelwerten der Gewichte. Man sieht, daß bei Zunahme des biparietalen Durchmessers um 0,5 cm (ab 8,5 cm bis 10 cm) das Gewicht um etwa jeweils 220 g ansteigt. Da der Wert bei 10,5 cm auf nur 5 Meßwerten beruht, kann das ermittelte Geburtsgewicht nicht unbedingt als allgemeingültig betrachtet werden. Aus diesem Grund wurde der letzte Teil der Kurve unterbrochen gezeichnet.

Eine analoge Kurve zu der in Abb. 17 gezeichneten läßt sich auch für den fronto-occipitalen Durchmesser aufstellen, auf die wir aber jetzt verzichten wollen.

Aus den Ergebnissen unserer Meßreihe können wir folgendes sagen:

1. Liegt der biparietale Schädeldurchmesser bei mindestens 8,5 cm, so erwarten wir bei 85 % der Kinder ein Geburtsgewicht von nicht unter 2500 g.
2. Bei einem Durchmesser von 9 cm haben höchstens 3 % der Kinder ein Geburtsgewicht unter 2500 g. Bei 79 % liegt das Gewicht sogar über 3000 g.
3. Bei den Kindern, deren biparietaler Durchmesser 9,5 cm betrug, konnten

wir nur ein einziges Mal (bei 75 Fällen) ein Geburtsgewicht von unter 2500 g beobachten. Etwa 90 % dieser Kinder wogen mehr als 3000 g.

Die Aussagen 1 bis 3 beziehen sich auf die post partum gemessenen biparietalen Durchmesser. Natürlich ist es wichtig, diese Zusammenhänge zu wissen; ebenso interessant ist aber auch die Beziehung der Gewichte zu den mit Ultraschall gemessenen Größen.- Messen wir mit Ultraschall den biparietalen Durchmesser mit 9 cm, so lagen die Geburtsgewichte in 88 % der Fälle höher als 2500 g und in etwa 78 % höher als 3000 g. Auch hinunter bis 8,25 cm konnten wir in fast 83 % der Fälle ein Gewicht von über 2,5 kg erwarten. Lasen wir vom Oszillographen einen biparietalen Schädeldurchmesser von mindestens 9,5 cm ab, so wurde das Geburtsgewicht von 2,5 kg immer überschritten. Das entsprechende Diagramm sehen wir in Abb. 17a.

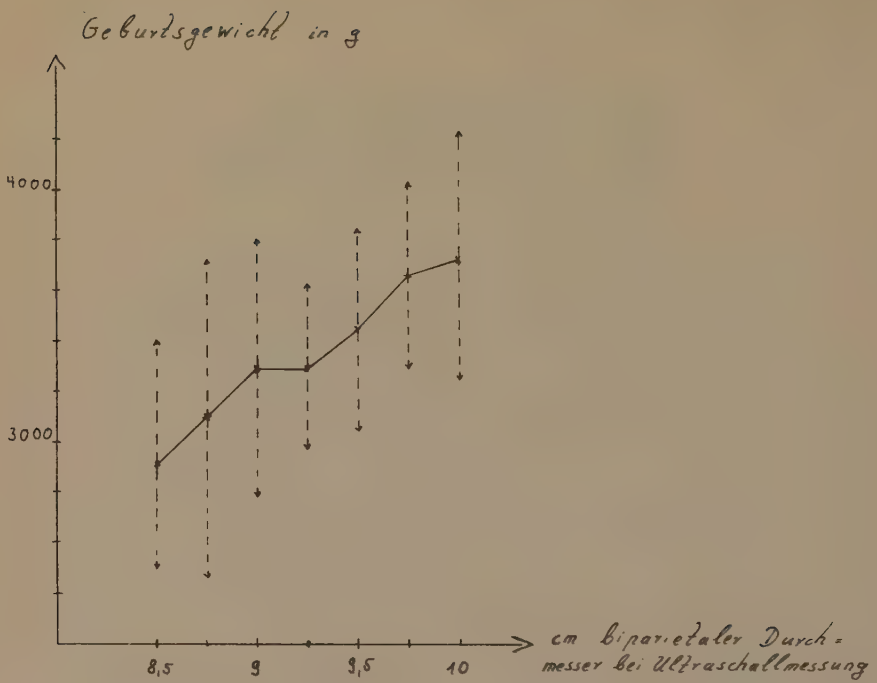


Abb. 17a Verhältnis des Geburtsgewichtes zu dem mit dem Echolot ermittelten kindlichen Schädeldurchmesser. Die Standardabweichungen wurden als senkrechte Pfeile eingezeichnet.

Die praktische Bedeutung dieser Aussagen liegt darin, daß dadurch die Entscheidung zur Einleitung der Geburt bei Schwangerschaften, die durch Rhesusinkompatibilität oder Diabetes gefährdet sind, erheblich erleichtert wird. (41)

7.2.3. Kindeslänge und biparietaler Durchmesser

Auch die Länge des Kindes kann mit seinem biparietalen (und auch fronto-occipitalen) Schädeldurchmesser in Korrelation gebracht werden.

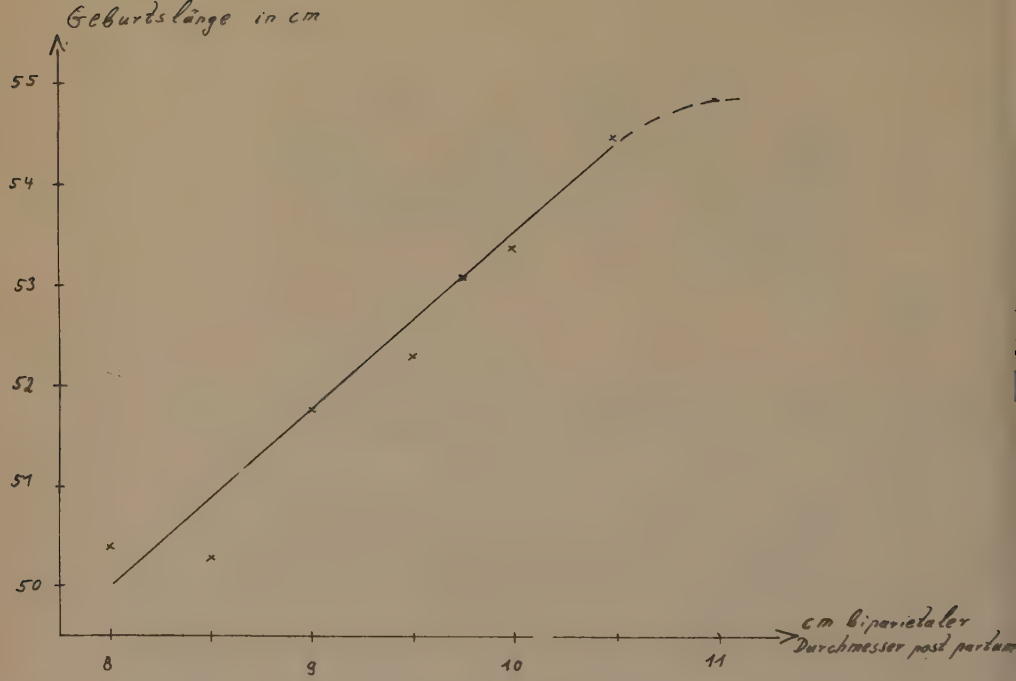


Abb 18 Zunahme der Geburtslängen bei wachsenden, post partum gemessenen, biparietalen Durchmessern.

Abb. 18 zeigt bei immer größer werdendem biparietalen Durchmesser die steigende Geburtslänge des Kindes. Kratochwil schreibt, daß bei einem Durchmesser von über 9,6 cm keine Beziehung zwischen beiden Maßen mehr hergestellt werden kann und daß man lediglich mit einer Größe von mehr als 51 cm rechnen darf (41). Bei unseren 305 mit dem Beckenzirkel gemessenen Diametern scheint aber eine Wechselbeziehung bis etwa 10, vielleicht sogar bis 10,5 cm zu bestehen. Wo die Kurve über die 10 cm hinausgeht, wurde wieder unterbrochen gezeichnet, weil die Anzahl der Meßwerte nicht entsprechend hoch lag.

Nach einer großen Untersuchung von Hosemann (26) liegt die Länge der geborenen Knaben durchschnittlich um 0,8 cm höher als die der Mädchen (gilt nur für reife Kinder). Wenn wir annehmen, daß etwa die Hälfte der von uns untersuchten Fälle Knaben waren, müßte man korrekterweise je eine Kurve für Mädchen und eine für Knaben zeichnen. In Abb. 18 würde demnach die Kurve für Knaben 0,4 cm höher, die für Mädchen 0,4 cm niedriger parallel zu der gezeichneten Kurve verlaufen. Eine Kurve nach der gleichen Art kann auch für den fronto-occipitalen Durchmesser aufgestellt werden.

Abb. 18a zeigt einen gleichen Aufbau wie Abb. 18, nur daß jetzt die mit dem Echolot gemessenen Durchmesser in Anwendung gebracht wurden.

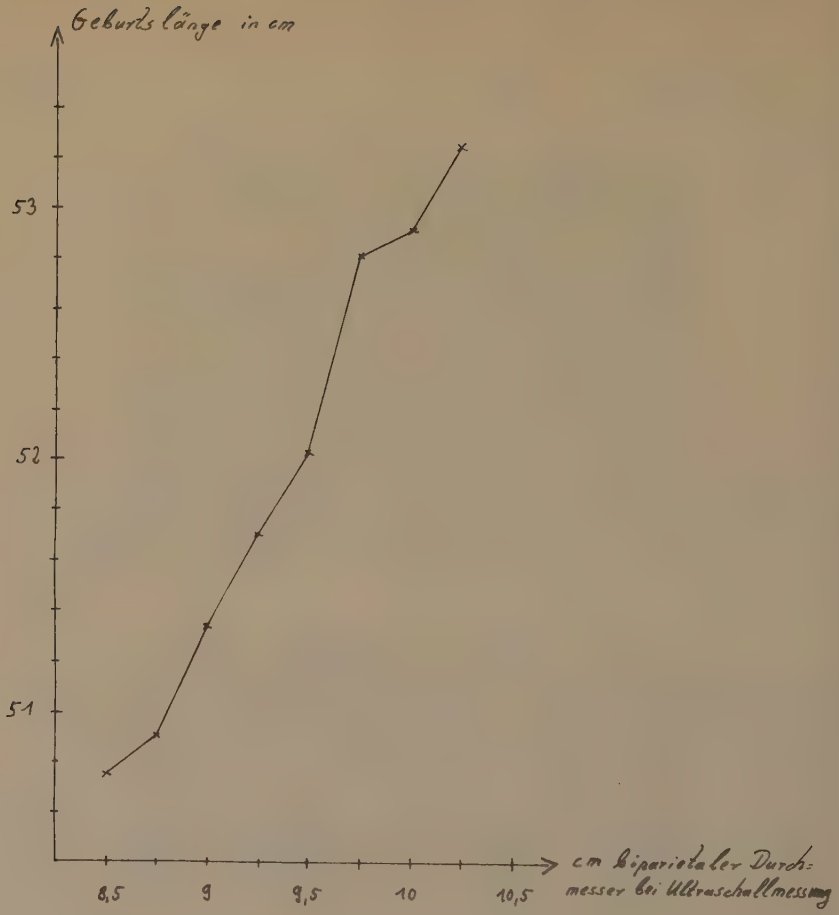


Abb 18a Zunahme der Geburtslängen mit steigendem, dem Echolot bestimmten, biparietalen Schädeldurchmessern

Für die Berechnung der intrauterinen Kindeslänge soll man den biparietalen Durchmesser mit 5,5 multiplizieren. Kratochwil (36), der das angibt, berichtet, daß nach dieser Methode die Abweichung des tatsächlichen Maßes vom geschätzten in 85,4 % der Fälle bei ± 2 cm liegen soll. In seiner Versuchsreihe konnte er feststellen, daß bei einem biparietalen Durchmesser von weniger als 9 cm die Kindeslänge in 71,3 % weniger als 50 cm beträgt (35).

In unseren Versuchen kamen wir mit dem angegebenen Faktor 5,5 nicht auf zufriedenstellende Ergebnisse. Im Gegensatz zu Kratochwil, der, wie oben berichtet, angibt, daß bei einem Durchmesser von über 9,6 cm keine Beziehung zwischen Kindeslänge und biparietalem Diameter mehr zu finden sei, wollen wir versuchen, auch bei größeren Schädeldurchmessern ein Verhältnis zur Kindeslänge herzustellen. Wir betrachteten den Bereich von 8,5 bis 10 cm. Multiplizieren wir den mit Ultraschall gemessenen Durchmesser mit 5,5, so zeigt sich in 77,8 % eine Abweichung des tatsächlichen Maßes vom geschätzten in den Grenzen von ± 3 cm. Wir stellten fest, daß man noch bessere Ergebnisse erreicht, wenn man entsprechend der Zunahme des biparietalen Durchmessers den Multiplikationsfaktor jeweils verringert, und zwar für jede 0,25 cm um 0,05. Das haben wir dann auch durchgeführt; Faktoren und entsprechende Durchmesser siehe nachfolgende Tabelle:

mit Ultraschall bestimmte bip. Durchmesser	Faktor
8,5	5,7
8,75	5,65
9	5,65
9,25	5,55
9,5	5,5
9,75	5,45
10	5,4
10,25	5,35
10,5	5,3

Nach dieser Rechnung liegen 84,4 % unserer Fälle im 3 cm-Bereich; die Schätzung wird also genauer. Die Werte der biparietalen Durchmesser von 10,25 cm und 10,5 cm, die nach der Tabelle mit 5,35 und 5,3 multipliziert werden müßten, sind in Folge geringer Anzahl nicht in der Rechnung enthalten. Alle 8 Schätzwerte liegen aber auf Grund der von uns angegebenen Umrechnungszahlen innerhalb der ± 3 cm Abweichung. Man müßte an einer größeren Grundgesamtheit nachprüfen, ob die von uns angegebenen Multiplikationsfaktoren auch dann noch ihre Gültigkeit behalten.

7.2.4. Biparietaler Durchmesser und Geburtstermin

Es sei nur kurz darauf hingewiesen, daß verschiedene Autoren (Kratochwil, Willocks) versucht haben, mit Hilfe des biparietalen Schädeldurchmessers auf den Geburtstermin zu schließen. Dieses Vorhaben kann als gescheitert angesehen werden. Eine Schätzung vor der 32. Woche ist nicht möglich (41).

Der Ultraschallwert in Verbindung mit dem klinischen Befund sowie den Angaben über die ersten Kindsbewegungen sollen einigermaßen ausreichende Ergebnisse gebracht haben. Kratochwil gibt dabei aber nicht an, worauf bei dem so entstandenen Schätzwert das Hauptgewicht gelegen hat, auf dem mit Hilfe des Ultraschalls bestimmten biparietalen Durchmesser oder, was wir eher annehmen, auf dem klinischen Befund.

Aus diesem Grunde haben wir auch nicht den Versuch gemacht, irgendwelche Formeln zu entwickeln, die allein aus dem biparietalen Schädeldurchmesser des Kindes den Geburtstermin bestimmen sollen.

8. Diskussion

Die Ultraschalluntersuchung hat seitdem Jahre 1968 in unserer Klinik einen festen Platz innerhalb der geburtshilflichen Diagnostik eingenommen.

Die schnell durchzuführende Untersuchung (10 min) ist völlig unschädlich und kann beliebig oft wiederholt werden. Verschiedene Tierexperimente und klinische Untersuchungen haben die Harmlosigkeit dieses Verfahrens bestätigt (12, 44). Um die ionisierende Strahlung zu vermeiden, sollte die Röntgendiagnostik in der Schwangerschaft auf ein Minimum beschränkt bleiben. Die Überlegenheit der Ultraschallmethode, die uns das Röntgen natürlich nicht vollständig ersetzen kann, wird hier augenscheinlich.

Man unterscheidet zwei Arten von Ultraschallschnittbildgeräten. Einmal bekommen wir ein eindimensionales Bild (A-scan), das andere Mal ein zweidimensionales Bild (B-scan). Der Vorteil der Schnittbildgeräte gegenüber den A-Bild-Apparaten liegt darin, daß Untersuchungen in 2 Dimensionen möglich sind und somit eine größere Anschaulichkeit gewährleistet wird. In Bezug auf unser Problem der Schädelmessungen muß noch bemerkt werden, daß es mit dem A-Bild-Verfahren überhaupt nicht möglich ist, den fronto-occipitalen Schädeldurchmesser intrauterin zu bestimmen.

Bei unseren Untersuchungen benutzten wir das Schnittbildgerät "Vidoson 635" der Firma Siemens AG Erlangen. Dieses Gerät liefert in Folge des sich schnell wiederholenden Bildaufbaus (16/sec) ein "lebendes Bild". Bewegungen des Feten können direkt gesehen werden; eine derartige Beobachtung ist mit den meisten anderen B-Bild-Geräten nicht möglich. Das Vidoson ist fahrbar, leicht zu dirigieren und kann somit, wenn notwendig, auch im Kreißsaal am Bett der Schwangeren angewandt werden. Das Ergebnis liegt sofort vor (automatische Abtastung), abzulesen am Oszillographen. Bei Bedarf kann das Bild mit einer Kamera festgehalten werden.

Uns ging es in erster Linie darum, festzustellen, in welcher Größenordnung die Meßfehler des Gerätes liegen. Bei einem Untersuchungsgut von 305 Schwangeren wurden intrauterin die biparietalen und fronto-occipitalen Schädeldurchmesser der Kinder mit dem Vidoson-Gerät bestimmt. Die Geburt erfolgte spätestens 6 Tage nach der Ultraschalluntersuchung. Als Meßgenauigkeit schien uns 0,25 cm ausreichend zu sein, zumal die Nachmessung mit dem Beckenzirkel erfolgte, der eine Ablesegenauigkeit von nur 0,25 cm gestattet. Am Oszillographen kann ohne weiteres bis auf 0,1 cm genau abgelesen werden. Zur Auswertung der Ergebnisse wurden die Fälle 103 - 305 herangezogen.

In ungefähr 86 % der Fälle lag die Abweichung

des post partum gemessenen biparietalen Durchmessers von dem mit Ultraschall gemessenen Wert im Bereich von ± 0,5 cm. Der fronto-occipitale Durchmesser konnte in 74 % bis auf ± 0,5 cm genau bestimmt werden.

Wenn man bedenkt, daß durch die gewählten Meßpunkte und den verschieden starken Andruck des Zirkels am kindlichen Schädel sowie durch die Ungenauigkeit des Zirkels selbst die Maße bis zu 2,5 mm schwanken können, dürfen wir mit unseren Ergebnissen insgesamt gesehen doch recht zufrieden sein (8).

Bei unseren Messungen haben wir dazu geneigt, kleine Schädel als größer und große Schädel als kleiner auszuloten. Bekanntlich wurde ja immer auf 0,25 cm genau abgelesen. Zwischenwerte mußten also auf- oder abgerundet werden. Ein Teil des Fehlers dürfte vielleicht darin zu suchen sein, daß die Untersucher dazu neigten, kleine Ultraschallwerte lieber aufzurunden und große Ultraschallwerte lieber abzurunden.

Wachstumskurven: Sowohl für den biparietalen als auch für den fronto-occipitalen Durchmesser konnten wir für den letzten Schwangerschaftsabschnitt Wachstumskurven aufstellen (vergl. die Abb. 15 und 16 bzw. 15a und 16a). Für den biparietalen Schädeldurchmesser berechneten wir ein durchschnittliches Wachstum von 1,1 - 1,2 mm pro Woche. Nach der Ultraschallkurve sind es 1 mm/Woche. Auffallend ist, daß das

Wachstum ab der 41. Woche sistiert. Ähnliches beobachtete auch Kratochwil bei seinen Versuchen (41).

Da der biparietale Durchmesser genauer zu bestimmen ist, wird dieser fast immer herangezogen, wenn über die Dauer der Schwangerschaft eine Aussage getroffen werden soll. Der frontooccipitale Wert dient meist nur als Bestätigung, entscheidend aber ist der biparietale Diameter.

Aussagen der Durchmesser: Mit Hilfe des Vidosongerätes kann man Mißbildungen wie Hydrops, Hydrocephalus und Anencephalus erkennen. Wir diagnostizierten den einzigen Fall eines Hydrocephalus in unserer Untersuchungsreihe mit unserem Ultraschallgerät.

Über die Schädeldurchmesser können wir auf die Reife, also Länge und Gewicht, schließen.

Für die Klinik ist es weniger wichtig, das Gewicht exakt zu bestimmen, sondern zu wissen, daß bei gewissen Durchmessern ein Mindestgewicht fast sicher zu erwarten ist. Zum Beispiel fanden wir bei einem mit Ultraschall gemessenen biparietalen Durchmesser von mindestens 9 cm in 91,5 % der Fälle ein Gewicht von mindestens 3000 g.

Mit jeden 0,25 cm Zuwachs des biparietalen Schädeldurchmessers steigt das Gewicht des

Feten um etwa 110 g. Man sieht, daß es hier nicht notwendig ist, den Durchmesser auf 1 mm genau zu bestimmen, denn die hierzu entsprechende Gewichtszunahme von 44 g ist nicht allzu bedeutend.

Kindeslänge: Zwischen Kindeslänge und biparietalem Schädeldurchmesser konnten wir in Abb. 18 bzw. 18a eine Beziehung herstellen bis zu einer Größe von 10 cm. Um die Länge des Feten vor der Geburt zu berechnen, wurden von uns in der Tabelle, im Gegensatz zu Kratochwil (35), variable Faktoren angegeben, die sich entsprechend dem Ultraschallmeßwert ändern. Unsere Erfahrungen damit waren gut. In 70,2 % der Fälle lag die Abweichung des Schätzwertes vom wahren Wert im Bereich von ± 2 cm.

Die kindlichen Schädeldurchmesser, die uns Länge und Gewicht des Feten ziemlich genau bestimmen lassen, erlauben uns somit auch Rückschlüsse auf die Reife des Kindes. Bei unklarer letzter Regel können wir auf Grund unserer Meßwerte die Geburt einleiten, das gilt ganz besonders in den Fällen, in denen wir den Feten als reif beurteilen und er eventuell durch eine Rhesusinkompatibilität oder einen Diabetes mellitus gefährdet ist.

Die Ultraschalluntersuchung mit dem Vidosongerät gehört an unserer Klinik jetzt zu den Routinemaßnahmen. In der geburtshilflichen Diagnostik möchten wir dieses einfach zu handhabende und doch so aussagekräftige Gerät nicht mehr missen.

9. Zusammenfassung

Es wird über die Geschichte des Ultraschalls in der Medizin berichtet, anschließend werden die physikalischen Grundlagen der Ultraschalltechnik etwas ausführlicher behandelt.

Die Gefahrlosigkeit der Ultraschallapplikation in der Diagnostik für Mutter und Kind wird herausgestellt.

Vergleichende Betrachtungen zwischen A-Bild- und B-Bild-Verfahren führen zu dem Ergebnis, daß das Schnittbildgerät dem eindimensionalen Apparat vorzuziehen ist.

Mit dem von der Siemens AG neu entwickelten Schnittbildgerät "Vidoson 635" wurden 305 intrauterine Schädelmessungen an der Universitäts-Frauenklinik Berlin durchgeführt. Biparietaler und fronto-occipitaler Durchmesser konnten in zufriedenstellender Weise bestimmt werden in 88,5 % wurde der biparietale Durchmesser bis auf ± 0,5 cm genau vor der Geburt gemessen. An Hand der so ermittelten Werte werden Wachstumskurven aufgestellt, die ein Ablesen der Schwangerschaftsdauer gestatten sollen. Wir fanden im letzten Schwangerschaftsabschnitt beim biparietalen Durchmesser eine wöchentliche Zuwachsrate von etwa 1 mm.

Die Aussagefähigkeit der Schädeldurchmesser zeigen wir in Verbindung mit den Bestimmungen

der Geburtsgewichte und Kindeslängen. Maßen wir mit Ultraschall einen biparietalen Durchmesser von mindestens 9 cm, so war das Geburtsgewicht mit 88 %iger Wahrscheinlichkeit 2500 g. Bei einem Durchmesser von mindestens 9,5 cm wurde die 2500 g-Grenze immer überschritten.

Bei unklarem Geburtstermin kann die Geburt eingeleitet werden, wenn mit Hilfe des Ultraschallschnittbildgerätes die Reife des Kindes als gesichert anzusehen ist.

Die Ultraschalldiagnostik gehört an unserer Klinik inzwischen zur Routineuntersuchung.

Literaturverzeichnis

1. Andrew, D.
Ultrasonography in pregnancy - an enquiry into its safety.
Brit. J. Radiol. 37 (1964) 185

2. Anderson, G.V., J.W. Niswonger
Cephalometrie with Ultrasound
Amer. J. Obstet. Gynec. 91 (1965) 563

3. Bergmann, L.
Der Ultraschall
Hirzel, Stuttgart 1954

4. Böck, J.
Die Klinik der Orbitaltumoren (Referat)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagnostik, Wien, 1969

5. Donald, J., Mac Vicar, T.G. Brown
Investigation of abdominal masses by pulsed ultrasound Lancet I (1958) 1188

6. Donald, J.
Sonar: A new diagnostic echo-sounding technique in obstetrics and gynaecology
Proc. roy. Soc. Med. 55 (1962) 637

7. Donald, J.
Ultrasonic echo sounding in obstetrical and gynaecological diagnosis
Amer. J. Obstet. Gynec. 93 (1965) 935

8. Durkan, S.P., G.L. Russo
Ultrasonic fetal cephalometry; accuracy limitation and application
Obstet. and Gynec. 27 (1966) 399

9. Dussik, K.
Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwerten.
Z. ges. Neurol. Psychat. 174 (1942) 153

10. Edler, J.
Ultrasonography
Acta med. scand. Suppl. 370 (1961)

11. Effert, S.
Anwendung des Ultraschalls in der Diagnostik der Mitralfehler - Bedeutung der Methode für die Operationsindikation.
Vortrag I. Weltkongr. für Ultraschalldiag., Wien 1969

12. Fischer, P., E. Golub, A. Kratochwil, E. Kunze-Mühl
Chromosomenuntersuchung nach Ultraschalleinwirkung
Wien, Klin. Wschr. 79 (1967) 436

13. Francois, J., F. Goes
Echographische Studie der Linsendicke als Funktion der Augenachsenlänge bei Emmetropen Personen des gleichen Alters (Vortrag)

13a Okkulometrie bei Emmetropie und Ametropie (Vortrag) I. Weltkongr. für Ultraschalldiag., Wien 1969

14. Freund, H.-J., H. Kapp
Eine Methode zur Registrierung arterieller Pulsationen mittels Ultraschall.
Pflügers Arch. 291 (1966) 268.

15. Gernet, H.
Okkulometrie zur Erkennung von Anomalien der Bulbusdimension (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

16. Giglio, E.
Fortschritte und Probleme bei der Messung intraokularer Distanzen (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

17. Hertz, C.H., Olofsson, S.
Framställning av tva-dimensionella bilder med. ultraljud. (Vortrag)
XXIV Nord. Radiolog. Kongr., Lund 1961
zitiert nach Edler 10.

18. Hofmann, D., H.-J. Holländer, P. Weiser
Neue Möglichkeiten der Ultraschalldiagnostik indder Gynäkologie und Geburtshilfe
Fortschr. Med. 84 (1966) 689

19. Hofmann, D., H. Mast, H.-J. Holländer
Die Bedeutung der Placentalokalisation mittels Ultraschall für die Amnionzentese
Geburtsh. u. Frauenheilk. 27 (1967) 1199

20. Hofmann, D., H.-J. Holländer, P. Weiser
Über die geburtshilfliche Bedeutung der Ultraschalldiagnostik
Gynaecologia 164 (1967) 24

21. Hofmann, D., H.-J. Holländer
Über den Nachweis fetalen Lebens und die Messung des kindlichen Schädels mittels des

zweidimensionalen Ultraschallecho-Verfahrens
Gynaecologia 165 (1968) 60

22. Hofmann, D., H.-J. Holländer
Die Anwendung des Ultraschallschnittbildgerätes Vidoson in der Gynäkologie und Geburtshilfe
Electromedica 36 (1968) 105

23. Holländer, H.-J.
Nachweis und Differentialdiagnostik intraabdomineller Tumoren mittels Ultraschall.
Med. Klin. 63 (1968) 1175

24. Holmes, J.H., D.H. Howry
Ultrasonic diagnosis of abdominal disease.
Amer. J. dig. Dis. 8 (1963) 12

25. Hosemann, H.
Schwangerschaftsdauer und Kopfumfang des Neugeborenen
Arch. Gynäk. 176 (1949) 443

26. Hosemann, H.
Normale und abnormale Schwangerschaftsdauer
Aus: Biologie und Pathologie des Weibes
Bd. VII, Herausgeb. L. Seitz, A.J. Amreich
Urban & Schwarzenberg, München 1952

27. Hüter, Th.
Messung der Ultraschallabsorption in tierischen Geweben und ihre Abhängigkeit von der Frequenz
Naturwissenschaften 35 (1948) 285

28. Hüter, Th., R. Pohlmann
Eine optische Methode zur Bestimmung der Ultraschallabsorption in undurchsichtigen, schallweichen Medien.
Z. angew. Phys. 1 (1949) 405

29. Hunt, K.
Placental localisation using the doptone fetal pulse recorder
J. Obstet. Gynaec. Brit. Cwlth. 76 (1969) 144

30. Kazner, E., H. Kunze, W. Schiefer
Die Bedeutung der Echoencephalographie für die Erkennung epiduraler Hämatome
Arch. klin. Chemie Bd. 310 (1965) 4: 267

31. Kazner, E., W. Schiefer
Die Echoencephalographie bei raumfordernden Prozessen der hinteren Schädelgrube
Acta Neurochir. Vol. XIV (1966) 177

32. Krause, W., R. Soldner
Ultraschallbildverfahren (B-scan) mit hoher Bildfrequenz für medizinische Diagnostik
Electromedica 35 (1967) 8

33. Krause, W., R. Soldner
Patentschrift zum Vidoson 635

34. Krause, W., R. Soldner
Persönliche Mitteilung

35. Kratochwil, A.
Die diagnostische Anwendung des Ultraschalls in der Geburtshilfe und Gynäkologie
Zbl. Gynäk. 88 (1966) 1032

36. Kratochwil, A.
Möglichkeiten der Ultraschalldiagnostik in der Geburtshilfe und Gynäkologie
Wien. klin. Wschr. 78 (1966) 190

37. Kratochwil, A., L. Eisenhut
Der früheste Nachweis der fetalen Herzaktion durch Ultraschall
Geburtsh. u. Frauenheilk. 27 (1967) 176

38. Kratochwil, A.
Kritische Betrachtungen zur ein- und zweidimensionalen Darstellung der Ultraschalluntersuchungsergebnisse in Geburtshilfe und Gynäkologie
Gynaecologia 164 (1967) 37

39. Kratochwil, A.
Die Ultraschallschnittbilduntersuchung in der Gynäkologie
Geburtsh. u. Frauenheilk. 28 (1968) 634

40. Kratochwil, A.
Ein neues Registrierverfahren des fetalen Ultraschall-Kardiogramms
Geburtsh. u. Frauenheilk. 28 (1968) 950

41. Kratochwil, A.
Ultraschalldiagnostik in Geburtshilfe und Gynäkologie
Thieme, Stuttgart 1968

42. Kretz Technik
Ultraschall-Diagnostik
Welsermühldruck 11668

43. Loch, E.-G.
Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Ultraschalldiagnostik
München. Med. Wschr. 110 (1968) 2156

44. Loch, E.-G.
Experimentelle Ergebnisse mit Ultraschall am Kaninchenovar (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

45. Ludwig, G.D.
The velocity of sound through tissues and the acustic impedance of tissues
J. acoust. Soc. Amer. 22 (1950) 862

46. Müller, E.
Erweiterungen des Ventrikelsystems und Echo-Encephalographie (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

47. Oksala, A.
Die Ultraschalldiagnostik bei Erkrankungen des Auges (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

48. Ossoinig, K.
Klinische Orbita-Echographie (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

49. Pfuhl, W.
Wachstum und Proportionen
Aus: Handbuch der Anatomie des Kindes
Bd. I (1938) 191

50. Sakurai, T., T. Hamada, M. Oka
Beurteilung der Ultraschalldiagnose von Cholelithiasis (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

51. Schiefer, W., E. Kazner
Methodik und diagnostische Möglichkeiten der Echoencephalographie
Fortschr. Med. (1966) Heft 4

52. Siemens AG
Montage und Inbetriebnahme des Vidoson 635

53. Siemens AG
Ultraschall-Bildgerät Vidoson 635
P-Katalog 1968

54. Siemens AG
Ultraschall-Bildgerät Vidoson

55. Sundén, B.
On the diagnostic value of ultrasound in obstetrics and gynaecology
Acta obstet. gynec. scand. 43, Suppl. 6 (1964) 1

56. Sundén, B.
Die diagnostische Anwendung des Ultraschalls in der Obstetrik und Gynäkologie
Gynäk. Rdsch. 2 (1965) 296

57. Sundén, B.
Ultrasound in the diagnosis of twins and hydramnios
J. Obstet. Gynaec. Brit. Cwlth. 72 (1965) 952

58. Sundén, B.
Obstetric Diagnosis with Ultrasound
Ultrasonics 5 (1967) 67

59. Taylor, E.S., J.H. Holmes, H.E. Thompson, K.R. Gottesfield
Ultrasound diagnostic techniques in obstetric and gynaecology
Amer. J. Obstet. Gynec. 90 (1964) 655

60. Thompson, H.E., J.H. Holmes, K.R. Gottesfield, E.S. Taylor
Fetal development as determined by ultrasonic pulse echo techniques
Amer. J. Obstet. Gynec. 92 (1965) 44

61. Till, P.
Echographie bei orbitalen Traumen (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

62. Umbach, W., M. Kley
Untersuchungen mit Ultraschall zur Diagnose und Verlaufskontrolle des kindlichen Hydrozephalus
Dtsch. med. Wschr. 90 (1965) 1313

63. Wever, H., H. Stockhausen
Fetale Herztonkontrolle und Placentalokalisation durch Ultraschall unter Verwendung des Dopplereffektes
Geburtsh. u. Frauenheilk. 27 (1967) 1209

64. Wild, J.J., J.M. Reid
Application of echo-ranging techniques to the determination of structure of biological tissues
Science 115 (1952) 226

65. Willocks, J., J. Donald, T.C. Duggan, N. Day
Fetal cephalometry by ultrasound
J. Obstet. Gynec. Brit. Cwlth. 71 (1964) 11

66. Winters, W.
Die Verwendung von Ultraschall bei Mitralstenose in Verbindung mit Mitralregulation (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

67. Zingirian, M., A. Rivara
Über die Anwendung der Echographie für die Bestimmung des globalen Brechindex des Kammerwasserglaskörpers (Vortrag)
I. Weltkongreß für Ultraschalldiagn., Wien 1969

L e b e n s l a u f

Ich, Wolfgang Daiber, wurde am 13.1o.44 als Sohn des Arztes Dr. med. Woldemar Daiber und seiner Frau Gertrud, geb. Krella, in Breslau geboren.
Die Volksschule besuchte ich ab Herbst 1949, zuerst in Coburg und später in Neustadt bei Coburg. Hier ging ich 1955 auf die Oberrealschule über und verließ die Anstalt im Sommer 1965 mit dem Zeugnis der Reife.
Im August und September 1965 absolvierte ich einen achtwöchigen Krankenpflegedienst am Landkrankenhaus Coburg.
Mit dem WS 1965/66 begann ich mit dem Studium der Humanmedizin an der Freien Universität Berlin. Die naturwissenschaftliche Vorprüfung bestand ich am 23.8.66 und die ärztliche Vorprüfung am 18.7.68 . Am 9.3.72 beendete ich das Medizinische Staatsexamen an der Freien Universität Berlin mit der Gesamtnote " sehr gut " .

Berlin,den 13.März 1972

Wolfgang Daiber

(Wolfgang Daiber)

B. Ladewig · Dissertationsdruck · 1 Berlin 12 · Pestalozzistr. 105 · Tel. 31 8885